N° 11F0027M au catalogue — N° 085
ISSN 1703-0412
ISBN 978-0-660-21054-4

Document analytique

Série de documents de recherche sur l'analyse économique (AE)

Croissance de la productivité et utilisation de la capacité

par Wulong Gu, Division de l'analyse économique, Statistique Canada
Weimin Wang, Division de l'analyse économique, Statistique Canada

Division de l'analyse économique

Statistique Canada Statistics Canada

Canada

Comment obtenir d'autres renseignements

Pour toute demande de renseignements au sujet de ce produit ou sur l'ensemble des données et des services de Statistique Canada, visiter notre site Web à www.statcan.gc.ca.

Vous pouvez également communiquer avec nous par :

Courriel à infostats@statcan.gc.ca

Téléphone entre 8 h 30 et 16 h 30 du lundi au vendredi aux numéros sans frais suivants :

- Service de renseignements statistiques 1-800-263-1136
- Service national d'appareils de télécommunications pour les malentendants 1-800-363-7629
- Télécopieur 1-877-287-4369

Programme des services de dépôt

- Service de renseignements 1-800-635-7943
- Télécopieur 1-800-565-7757

Comment accéder à ce produit

Le produit no 11F0027M au catalogue est disponible gratuitement sous format électronique. Pour obtenir un exemplaire, il suffit de visiter notre site Web à www.statcan.gc.ca et de parcourir par « Ressource clé » > « Publications ».

Normes de service à la clientèle

Statistique Canada s'engage à fournir à ses clients des services rapides, fiables et courtois. À cet égard, notre organisme s'est doté de normes de service à la clientèle que les employés observent. Pour obtenir une copie de ces normes de service, veuillez communiquer avec Statistique Canada au numéro sans frais 1-800-263-1136. Les normes de service sont aussi publiées sur le site www.statcan.gc.ca sous « À propos de nous » > « Notre organisme » > « Offrir des services aux Canadiens ».

Publication autorisée par le ministre responsable de Statistique Canada

© Ministre de l'Industrie, 2013

Tous droits réservés. L'utilisation de la présente publication est assujettie aux modalités de l'entente de licence ouverte de Statistique Canada (http://www.statcan.gc.ca/reference/copyright-droit-auteur-fra.htm).

This publication is also available in English.

Note de reconnaissance

Le succès du système statistique du Canada repose sur un partenariat bien établi entre Statistique Canada et la population du Canada, ses entreprises, ses administrations et les autres établissements. Sans cette collaboration et cette bonne volonté, il serait impossible de produire des statistiques exactes et actuelles.

Signes conventionnels

Les signes conventionnels suivants sont employés dans les publications de Statistique Canada :

.	indisponible pour toute période de référence
..	indisponible pour une période de référence précise
...	n'ayant pas lieu de figurer
0	zéro absolu ou valeur arrondie à zéro
0[s]	valeur arrondie à 0 (zéro) là où il y a une distinction importante entre le zéro absolu et la valeur arrondie
p	provisoire
r	révisé
x	confidentiel en vertu des dispositions de la *Loi sur la statistique*
E	à utiliser avec prudence
F	trop peu fiable pour être publié
*	valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p<0,05$)

Croissance de la productivité et utilisation de la capacité

par

Wulong Gu, Division de l'analyse économique, Statistique Canada
Weimin Wang, Division de l'analyse économique, Statistique Canada

11F0027M No. 085
ISSN 1703-0412
ISBN 978-0-660-21054-4

Juillet 2013

Les noms des auteurs sont inscrits en ordre alphabétique.

Série de documents de recherche sur l'analyse économique

La série de documents de recherche sur l'analyse économique permet de faire connaître les travaux de recherche effectués par le personnel du secteur des comptes nationaux et des études analytiques, les boursiers invités et les universitaires associés. Cette série de documents de recherche a pour but de favoriser la discussion sur un éventail de sujets tels que les répercussions de la nouvelle économie, les questions de productivité, la rentabilité des entreprises, l'utilisation de la technologie, l'incidence du financement sur la croissance des entreprises, les fonctions de dépréciation, l'utilisation de comptes satellites, les taux d'épargne, le crédit-bail, la dynamique des entreprises, les estimations hédoniques, les tendances en matière de diversification et en matière d'investissements, les différences liées au rendement des petites et des grandes entreprises et à celui des entreprises nationales et multinationales ainsi que les estimations relatives à la parité du pouvoir d'achat. Les lecteurs de la série sont encouragés à communiquer avec les auteurs pour leur faire part de leurs commentaires et suggestions.

Les documents sont diffusés principalement au moyen d'Internet. On peut y accéder gratuitement sur Internet, à www.statcan.gc.ca.

Tous les documents de recherche de la série de documents de recherche sur l'analyse économique font l'objet d'un processus de révision institutionnelle et d'évaluation par les pairs afin de s'assurer de leur conformité au mandat confié par le gouvernement à Statistique Canada en tant qu'agence statistique et de leur pleine adhésion à des normes de bonne pratique professionnelle, partagées par la majorité.

Les documents de cette série comprennent souvent des résultats provenant d'analyses statistiques multivariées ou d'autres techniques statistiques. Il faut noter que les conclusions de ces analyses sont sujettes à des incertitudes dans les estimations énoncées.

Le niveau d'incertitude dépendra de plusieurs facteurs : de la nature de la forme fonctionnelle de l'analyse multivariée utilisée; de la technique économétrique employée; de la pertinence des hypothèses statistiques sous-jacentes au modèle ou à la technique; de la représentativité des variables prises en compte dans l'analyse; et de la précision des données employées. Le processus de la revue des pairs vise à garantir que les documents dans les séries correspondent aux normes établies afin de minimiser les problèmes dans chacun de ces domaines.

Comité de révision des publications
Direction des études analytiques, Statistique Canada
18e étage, Immeuble R.-H.-Coats
Ottawa, Ontario K1A 0T6

Remerciements

Nous remercions John Baldwin, Doug May, Jianmin Tang, Ben Tomlin, Paul Schreyer, Michael Willox, et les participants à la série de séminaires sur l'analyse économique organisés à Statistique Canada de leurs nombreuses suggestions et remarques utiles.

Table des matières

Résumé 5

Sommaire 6

1 Introduction 8

2 Brève revue de la littérature 10

3 Approche non paramétrique de mesure de la croissance de la productivité multifactorielle en présence d'utilisation variable du capital 13

4 Estimation du coût *ex ante* d'usage du capital 22

5 Résultats empiriques pour les industries du secteur canadien des entreprises 23

6 Conclusion 30

7 Annexe 31

7.1 Fixité et valeur fictive du capital dans le court terme 31

7.2 Approche paramétrique de la mesure de la croissance de la productivité multifactorielle sous utilisation variable du capital 34

7.3 Majoration du prix et utilisation de la capacité 36

Bibliographie 39

Résumé

Le présent article décrit une approche non paramétrique de la correction de la mesure de la croissance de la productivité multifactorielle (CPMF) visant à tenir compte des variations de l'utilisation de la capacité au fil du temps. Dans le cadre élaboré ici, en partant de la théorie économique de la production, on établit une mesure de l'utilisation du capital que l'on estime en comparant le rendement *ex post* au rendement attendu *ex ante* du capital. On compare ensuite l'approche non paramétrique avec l'approche paramétrique et le cadre classique de comptabilité de la croissance. Les approches non paramétrique et paramétrique permettent toutes deux de corriger le biais cyclique présent dans la mesure classique de la CPMF, mais l'approche non paramétrique offre une correction plus pratique de l'effet de l'utilisation de la capacité, car elle est plus facile à mettre en œuvre et plus en harmonie avec l'approche non paramétrique utilisée de longue date par les organismes statistiques et les chercheurs. Les résultats laissent entendre que la variation de l'utilisation de la capacité est la cause principale de la procyclicité de la mesure classique de la CPMF du secteur de la production de biens au Canada et que la diminution de la mesure classique de la CPMF observée après 2000 dans le secteur canadien de la fabrication est attribuable en grande partie à la réduction de l'utilisation de la capacité.

Sommaire

Les estimations officielles de la productivité fournissent des statistiques sommaires sur la croissance de la productivité multifactorielle (CPMF) qui permettent de suivre le progrès technique. Elles reposent sur la comparaison du taux de croissance réel de la production et de l'accroissement attendu de cette dernière à la suite d'une augmentation des facteurs de production en utilisant les techniques de production préexistantes ou courantes. En tout point dans le temps, les techniques existantes permettent d'augmenter les portions de facteurs (travail, capital) qui entrent dans le processus de production afin d'accroître la quantité de produits. En multipliant les portions supplémentaires de facteurs introduites dans le processus de production par le produit marginal existant de ces facteurs, on obtient une estimation de la quantité attendue de produits qui résulte, durant une période donnée, de l'utilisation de ces portions de facteurs. Si la production réelle est supérieure à cette quantité attendue, on dit que la productivité a augmenté et l'une des sources de cette croissance est le progrès technique non incorporé.

Pour que ce genre de résidu de productivité fournisse une estimation sans biais du progrès technique, tous les facteurs de production doivent être mesurés à leur niveau « en usage » au lieu de leur niveau « en place ». Cependant, comme les facteurs de production en usage sont habituellement inobservables, les mesures des portions de facteurs de production sont généralement fondées sur les facteurs de production en place. Ces facteurs de production, tels que le capital, sont fixes dans le court terme, de sorte que leur niveau en usage et leur niveau en place diffèrent souvent si la capacité d'utilisation (le ratio des facteurs utilisés aux facteurs en place) varie. Par conséquent, la croissance de la production peut découler d'une augmentation de l'utilisation de la capacité de court terme plutôt que d'une augmentation du stock de capital, et les mesures de la CPMF dérivées de ces facteurs en place seront entachées d'un biais. Sans correction pour tenir compte de l'effet des variations cycliques de l'utilisation de la capacité, la CPMF publiée peut être procyclique, c'est-à-dire due simplement à l'erreur de mesure.

Depuis Solow (1957), les auteurs de nombreuses études ont tenté d'ajuster la mesure de la CPMF pour tenir compte de l'utilisation de la capacité, mais les mesures résultantes demeurent généralement procycliques. Solow (1957) a utilisé les taux de chômage pour corriger la mesure des variations de l'utilisation du capital ainsi que du travail. Jorgenson et Griliches (1967) se sont servis d'un indice de l'utilisation des moteurs électriques dans le secteur de la fabrication des États-Unis pour corriger l'utilisation du capital dans le secteur privé aux États-Unis. D'autres mesures qui ont été utilisées pour tenir compte de l'utilisation de la capacité comprennent la croissance des quantités de matières (Basu, 1996), du nombre d'heures travaillées par travailleur (Basu et Fernald, 2001) et des parts du profit (Denison, 1979). Cependant, l'emploi de ce genre de mesures de substitution ponctuelles souffre d'un manque de justification s'appuyant sur un cadre théorique (Berndt et Fuss, 1986).

Le présent article offre une approche non paramétrique de la mesure de la CPMF. Cette approche repose sur le cadre de comptabilité de la croissance qui permet de tenir compte de manière plus appropriée de l'effet des fluctuations cycliques du taux d'utilisation de la capacité. Une mesure de l'utilisation du capital est dérivée de la théorie économique de la production, puis estimée en comparant le rendement *ex post* au rendement attendu *ex ante* du capital. Cette approche est intuitivement intéressante, parce que les variations du rendement *ex post* du capital reflètent sans doute principalement la variation de l'utilisation de la capacité. Un plus haut niveau de capital inutilisé est associé à un taux de rendement *ex post* plus faible, qui est calculé sur le niveau réel de capital.

Le présent article diffère de la littérature sur la mesure directe de l'utilisation du capital. Au lieu d'être axé sur le stock de capital disponible pour la production (capital en place), on y examine la demande de capital — la portion optimale de facteur capital associée aux quantités observées (mesurées de manière appropriée) de produits et aux portions des autres facteurs de

production. Par conséquent, le taux d'utilisation du capital peut être calculé de façon endogène au lieu d'être choisi arbitrairement. Le taux d'utilisation du capital peut être exprimé sous forme du ratio du coût d'usage *ex post* du capital durant une période au coût d'usage *ex ante*, ou du marché, du capital durant la même période. Ce ratio est une variante du q de Tobin utilisée dans Berndt et Fuss (1986).

Trois méthodes de mesure de la CPMF sont examinées ici. La première est la méthode classique de comptabilité de la croissance introduite par Solow (1957) et élaborée par Jorgenson et Griliches (1967), Christensen et Jorgenson (1969, 1970) et Diewert (1976). Cette méthode d'usage très répandu a été adoptée par de nombreux organismes statistiques internationaux. La deuxième approche est la méthode non paramétrique proposée dans le présent article. La troisième est l'approche paramétrique élaborée dans Berndt et Hesse (1986). Ces méthodes sont toutes trois mises en œuvre en utilisant les données sur le secteur canadien de la fabrication pour la période de 1961 à 2007, et les deux approches non paramétriques sont aussi mises en œuvre en utilisant les données sur les industries canadiennes au niveau à deux chiffres du Système de classification des industries de l'Amérique du Nord au cours de la même période.

Les résultats montrent que la CPMF mesurée par la méthode classique est procyclique et reflète en grande partie les variations cycliques de l'utilisation de la capacité dans le secteur de la production de biens, mais non dans celui de la production de services. Par ailleurs, la mesure non paramétrique élaborée ici élimine la majorité de la cyclicité. Les résultats suggèrent que la variation de l'utilisation de la capacité est un déterminant important de la procyclicité de la mesure non paramétrique classique de la CPMF dans le secteur canadien de la production de biens, surtout celui de la fabrication.

En outre, la présente étude fait penser que la diminution de la CPMF observée après 2000 dans le secteur de la fabrication a eu en grande partie pour origine la diminution de l'utilisation de la capacité. Après correction pour tenir compte de la diminution de l'utilisation de la capacité durant cette période, on constate que la CPMF n'a pas diminué comme le suggère la mesure officielle de la CPMF, mais a augmenté au même taux de long terme que celui observé pour les décennies précédentes.

1 Introduction

Les estimations officielles de la productivité fournissent des statistiques sommaires sur la croissance de la productivité multifactorielle (CPMF) qui permettent de suivre le progrès technique. Elles reposent sur la comparaison du taux de croissance réel de la production et de l'accroissement attendu de cette dernière à la suite d'une augmentation des facteurs de production en utilisant les techniques de production préexistantes ou courantes. En tout point dans le temps, les techniques existantes permettent d'augmenter les portions de facteurs (travail, capital) qui entrent dans le processus de production afin d'accroître la quantité de produits. En multipliant les portions supplémentaires de facteurs introduites dans le processus de production par le produit marginal existant de ces facteurs, on obtient une estimation de la quantité attendue de produits qui résulte, durant une période donnée, de l'utilisation de ces portions de facteurs. Si la production réelle est supérieure à cette quantité attendue, on dit que la productivité a augmenté et l'une des sources de cette croissance est le progrès technique non incorporé.

On calcule la CPMF comme étant le résidu de croissance de la production après avoir soustrait la contribution à cette croissance de tous les facteurs de production mesurés. La CPMF est déterminée par une méthode de comptabilité de la croissance ou par la régression en utilisant une fonction de production ou une fonction de coût. Les deux méthodes ont été introduites par Solow (1957) si bien que la CPMF mesurée est parfois appelée résidu de Solow. Pour que la CPMF mesurée par différence fournisse des estimations sans biais du progrès technique, tous les facteurs de production doivent être mesurés à leur niveau d'usage en production au lieu de leur niveau en place. En outre, la croissance des facteurs de production doit être pondérée par leurs élasticités respectives par rapport à la production. Les élasticités sont évaluées aux niveaux d'usage afin de mesurer exactement la production attendue durant la période, étant donné les ressources réellement utilisées dans le processus de production.

Sur le plan pratique, les facteurs utilisés en production ne sont pas tous mesurables, et ceux qui le sont ne sont pas tous mesurés correctement. L'un des problèmes concerne la détermination du niveau d'utilisation des facteurs de production. Comme il arrive souvent que le niveau des facteurs utilisés en production (qui est déterminé par le taux d'utilisation de la capacité) ne soit pas observé, on se sert du niveau des facteurs en place pour estimer la CPMF. Cependant, le taux d'utilisation de la capacité a tendance à être procyclique[1], et l'emploi d'une mesure des facteurs de production en place au lieu des facteurs utilisés en production introduit un biais cyclique dans l'estimation de la CPMF.

La correction pour tenir compte de l'effet des variations de l'utilisation de la capacité est importante quand le taux d'utilisation de la capacité (le ratio des facteurs de production utilisés aux facteurs de production en place) varie. Récemment, le Canada a connu un essor du secteur des ressources naturelles et une hausse du taux de change Canada-États-Unis ($CAN/$US). En se servant de microdonnées sur les mesures prises par les établissements manufacturiers pour faire face aux pressions résultant des changements survenus sur les marchés des exportations et à la baisse résultante de l'utilisation de la capacité, Baldwin, Gu et Yan (2011) montrent que la baisse des mesures classiques de la CPMF durant cette période était principalement, sinon entièrement, due à la diminution de l'utilisation de la capacité. Par conséquent, les estimations non paramétriques classiques de la CPMF pour cette période doivent être examinées et évaluées prudemment.

1. Basu (1996) a observé que trois hypothèses concurrentes peuvent expliquer la procyclicité de la CPMF mesurée. Premièrement, les variations exogènes de la technologie de production sont le principal moteur des cycles économiques, comme il est supposé dans certains modèles du cycle économique réel (Cooley et Prescott, 1995). Deuxièmement, une économie accroît son efficacité de manière endogène en produisant plus de produits, en raison de l'augmentation des rendements d'échelle. Troisièmement, les variations cycliques du taux d'utilisation de la capacité, qui est élevé durant les périodes d'expansion et faible durant les périodes de ralentissement, ne sont pas prises en compte comme il convient pour mesurer la CPMF. Basu (1996) a conclu que la procyclicité de la CPMF découle le plus probablement de la variation cyclique du taux d'utilisation de la capacité.

Depuis Solow (1957), les auteurs de nombreuses études ont tenté d'ajuster la mesure de la CPMF pour tenir compte de l'utilisation de la capacité, mais les mesures résultantes demeurent généralement procycliques. Solow (1957) a utilisé les taux de chômage pour corriger la mesure des variations de l'utilisation du capital et du travail. Jorgenson et Griliches (1967) se sont servis d'un indice de l'utilisation des moteurs électriques dans le secteur de la fabrication des États-Unis pour corriger l'utilisation du capital dans le secteur privé aux États-Unis. D'autres mesures qui ont été utilisées pour tenir compte de l'utilisation de la capacité comprennent la croissance des quantités de matières (Basu, 1996), du nombre d'heures travaillées par travailleur (Basu et Fernald, 2001) et des parts du profit (Denison, 1979). Mais, comme l'ont fait remarquer Berndt et Fuss (1986), l'utilisation de mesures de substitution ponctuelles n'est pas satisfaisante, faute d'un cadre théorique.

Nous présentons ici une méthode non paramétrique qui s'appuie sur le cadre de comptabilité de la croissance pour mesurer la CPMF. Cette méthode tient compte de manière plus appropriée de l'effet des fluctuations cycliques du taux d'utilisation du facteur capital. Partant de la théorie économique de la production, une mesure de l'utilisation du capital est établie, puis estimée en comparant le rendement *ex post* au rendement attendu *ex ante* du capital. Cette méthode est intuitivement intéressante, parce que les variations du rendement *ex post* du capital devraient refléter principalement la variation de l'utilisation du capital. Un niveau plus élevé de capital non utilisé est associé à un taux de rendement *ex post* plus faible, qui est calculé en se basant sur le niveau réel de capital.

Le présent article est axé sur l'élaboration d'une mesure de l'utilisation du facteur capital. La mesure de l'utilisation des autres facteurs de production pose moins de problèmes. Pour les matières, la quantité achetée reflète vraisemblablement le niveau optimal nécessaire pour la production, surtout si l'on se sert de données annuelles. Pour le travail, le nombre d'heures travaillées est utilisé pour tenir compte de la cyclicité relative à l'utilisation de la main-d'œuvre[2].

L'approche présentée ici diffère de celle décrite dans la littérature sur la mesure directe de l'utilisation du capital, qui s'appuie sur des mesures de substitution, telles que les taux de chômage et le nombre d'heures travaillées par travailleur[3]. Au lieu de se concentrer sur le stock de capital disponible pour la production (capital en place) et corrigé pour l'utilisation, la présente analyse porte sur la demande de facteur capital — la portion optimale de capital associée aux quantités observées (mesurées comme il convient) de produits et aux portions des autres facteurs de production. Le taux d'utilisation du capital peut alors être dérivé de manière endogène; il peut être exprimé sous forme du ratio du coût *ex post* d'usage du capital durant une période au coût *ex ante*, ou du marché, d'usage du capital durant la même période. Ce ratio est une variante du *q* de Tobin employée dans Berndt et Fuss (1986)[4] pour ajuster le prix de location du facteur capital et pour modifier la pondération de la croissance de ce facteur

2. L'emploi pourrait ne pas être ajusté entièrement dans le court terme, en raison du comportement de thésaurisation de la main-d'œuvre et des coûts quasi fixes d'ajustement de la main-d'œuvre, tels que le recrutement, la formation ou la redondance. Néanmoins, dans la plupart des cas, les employeurs peuvent réduire le nombre d'heures travaillées par travailleur durant les périodes de ralentissement économique.
3. Il est important de faire la distinction entre les concepts économique et technique d'utilisation de la capacité. Le premier se fonde sur une optimisation. En particulier, le capital en place est utilisé pleinement du point de vue économique quand la contrainte d'optimisation imposée au capital est satisfaite (la valeur des produits marginaux du capital est égale aux coûts d'usage du capital du marché). Par conséquent, la portion de capital en usage dépend des coûts d'usage relatifs des facteurs de production. En revanche, le concept technique de production à pleine capacité est fondé sur l'utilisation de la machinerie selon un horaire normal ou plein, et est donc indépendant des coûts d'usage relatifs des facteurs de production. Sauf indication contraire, c'est le concept économique qui est utilisé dans le présent article.
4. Le *q* de Tobin est le ratio de la valeur de marché à la valeur de remplacement d'une entreprise. Étant donné le calcul du taux de rendement du capital durant une période sous forme du ratio du revenu du capital à la valeur du marché (*ex ante*) ou au coût de remplacement (*ex post*) du capital, une variante du *q* de Tobin peut s'écrire comme étant le ratio du taux *ex post* au taux *ex ante*. Quand le taux *ex ante* est plus élevé (plus faible) que le taux *ex post*, le coût de remplacement d'une entreprise est plus élevé (plus faible) que sa valeur marchande, ce qui implique que le capital est sous-utilisé (surutilisé).

dans le calcul de la CPMF afin de prendre en considération les variations de l'utilisation de la capacité.

Le présent article montre que, pour tenir compte du taux d'utilisation du capital dans la mesure de la CPMF, il faut utiliser le ratio du rendement *ex post* au rendement *ex ante* du capital plutôt que son prix pour ajuster la portion de capital. Berndt et Fuss (1986) ont utilisé le niveau réel de capital en place dans leur mesure de la CPMF. Ils ont conclu que si l'on évalue le capital en place à la valeur de son produit marginal, la mesure de la CPMF est corrigée de la variation de l'utilisation de la capacité. Mais comme l'ont constaté Basu et Fernald (2001), ainsi que Hulten (2010), la méthode de Berndt et Fuss ne fournit pas de solution au problème que pose l'utilisation de la capacité dans la mesure de la CPMF. La présente analyse montre que pour arriver à leur conclusion, Berndt et Fuss supposent implicitement une pleine utilisation du capital.

Trois approches en vue de mesurer la CPMF sont examinées dans le présent article. La première est la méthode très répandue de la comptabilité de la croissance introduite par Solow (1957) et élaborée par Jorgenson et Griliches (1967), Christensen et Jorgenson (1969, 1970) et Diewert (1976). La deuxième est la méthode non paramétrique proposée dans la présente étude. La dernière est l'approche paramétrique élaborée par Berndt et Hesse (1986). Les trois méthodes sont mises en œuvre en utilisant des données sur le secteur canadien de la fabrication couvrant la période de 1961 à 2007; les deux approches non paramétriques sont aussi appliquées en utilisant les données sur 18 secteurs canadiens du niveau de classification à deux chiffres du Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) au cours de la même période.

La suite du rapport comprend cinq sections. La littérature sur la mesure de la CPMF et sur l'utilisation de la capacité est passée brièvement en revue à la section 2. Une méthode non paramétrique de mesure de la CPMF avec correction de l'effet des variations de l'utilisation de la capacité est élaborée à la section 3. La section 4 décrit la procédure d'estimation du coût d'usage du capital *ex ante* (du marché) durant une période. À la section 5, la nouvelle méthode est appliquée empiriquement en utilisant des données sur les secteurs d'activité canadiens et les résultats sont comparés à ceux de la méthode classique et de la méthode paramétrique de Berndt et Hesse (1986). Les conclusions sont présentées à la section 6.

2 Brève revue de la littérature

Depuis Solow (1957), la CPMF est ordinairement calculée comme étant la différence entre la croissance réelle de la production et la croissance de la production attendue en raison de la croissance des facteurs de production. Le « résidu » de productivité résultant reflète les effets des facteurs de production non mesurés.

Une caractéristique de la CPMF mesurée ainsi est sa procyclicité. De nombreux économistes pensent que cette procyclicité est causée en grande partie par la mesure incorrecte des variations cycliques non observées de l'utilisation de la capacité; certains macroéconomistes la considèrent comme un fait stylisé et une caractéristique essentielle des cycles économiques.

Comprendre la nature du progrès technique requiert une correction appropriée pour tenir compte de l'effet des variations de l'utilisation de la capacité dans la mesure de la CPMF. Depuis Solow (1957), les auteurs de nombreuses études ont essayé de tenir compte de cet effet en utilisant des mesures de substitution ponctuelles, mais les résultats n'ont guère été satisfaisants.

Se rendant compte qu'à certains moments, aussi bien le capital que la main-d'œuvre sont sous-utilisés, Solow (1957) a intégré ce qu'il a défini comme étant « le capital et le travail en usage » dans son calcul de la CPMF. Il a obtenu sa mesure du capital et du travail en usage en rajustant

le capital et le travail en place au moyen du taux de chômage. Sur la base des données corrigées de la cyclicité, il a conclu que la CPMF expliquait plus de 80 % de la croissance de la productivité du travail aux États-Unis au cours de la période allant de 1909 à 1949.

Une décennie plus tard, Jorgenson et Griliches (1967) ont utilisé un indice de l'utilisation des moteurs électriques dans le secteur américain de la fabrication pour ajuster la valeur du capital en place dans le secteur privé de l'économie. Ils ont conclu que la CPMF représentait moins de 5 % de la croissance de la production au cours de la période de 1945 à 1965. Denison (1969) a critiqué cette approche de type technique, soutenant qu'il n'est pas approprié d'apporter une correction pour tenir compte des portions de capital issues de divers actifs dans l'ensemble de l'économie en utilisant uniquement l'indice de l'utilisation des moteurs électriques dans le secteur de la fabrication. Les résultats publiés dans Christensen et Jorgenson (1970) appuient la critique de Denison : en ne rajustant que les valeurs des bâtiments non résidentiels et des biens d'équipement durables des producteurs au moyen du seul indice d'utilisation des moteurs électriques, la contribution rapportée de la CPMF à la croissance de la production est passée à environ 40 %.

D'autres applications de mesures de substitution ponctuelles pour corriger l'effet de l'utilisation cyclique de la capacité comprennent le ratio de la consommation d'énergie au stock de capital (Burnside, Eichenbaum et Rebelo, 1995), la croissance des matières (Basu, 1996), le nombre d'heures travaillées par travailleur (Basu et Fernald, 2001) et les parts du profit (Denison, 1979). Ces mesures ont un fondement empirique plutôt que théorique.

Diverses approches économiques (non paramétriques et paramétriques) en vue d'ajuster les données pour tenir compte de la cyclicité ont été proposées depuis la fin des années 1970. Entre autres, Berndt et Fuss (1986) ont élaboré une approche non paramétrique afin de corriger le résidu de productivité en utilisant les pondérations fondées sur le revenu résiduel *ex post* du capital pour évaluer l'effet du capital et du travail dans la formule d'estimation de la CPMF. Hulten (1986, p. 43) a résumé leur contribution comme montrant que :

> Le biais de l'estimation de la productivité multifactorielle résultant de l'hypothèse erronée de l'existence d'un équilibre de long terme est dû à la mesure incorrecte des pondérations dans le calcul, et non à la mesure incorrecte du flux de services de capital. [Traduction].

Christensen et Jorgenson (1969) ainsi que Gollop et Jorgenson (1980) ont élaboré une méthode *ex post* d'estimation du prix fictif du capital qui corrige les pondérations appliquées au capital au cours du cycle sans devoir ajuster le capital en place mesuré. Cette approche (nommée « approche de Jorgenson » dans le présent article) a été largement adoptée par les organismes statistiques internationaux et les auteurs d'études sur la productivité. La proposition de Berndt-Fuss peut être considérée comme représentant une justification théorique de l'approche de Jorgenson.

Malgré l'utilisation de cette correction pour tenir compte de l'utilisation de la capacité, la mesure de la CPMF produite demeure sensible aux cycles économiques. Il semble donc que cette méthode ne corrige qu'imparfaitement l'effet cyclique — à moins que le progrès technique proprement dit ne fluctue avec le cycle. Une cyclicité reste enchâssée dans la plupart des mesures de la CPMF fondée sur l'approche de Berndt-Fuss ou sur l'approche de Jorgenson.

Deux types d'approches paramétriques élaborées pour tenir compte de l'utilisation de la capacité — l'une par Morrison dans le cadre d'une série d'études[5], et l'autre par Berndt et Hesse (1986) — possèdent plusieurs points communs. Le facteur capital est supposé être quasi fixe, et la technologie de production est spécifiée sous forme d'une fonction de coût de court terme translogarithmique. Les conditions d'équilibre de long terme sont imposées sur la fonction

5. Voir Morrison (1985, 1986, 1988, 1992a, 1992b).

de coût de court terme en appliquant le lemme de Hotelling pour dériver les fonctions de demande (ou les fonctions de part) pour les facteurs variables, en appliquant le lemme de Shephard pour obtenir les équations d'établissement des prix pour les facteurs quasi fixes, et en posant que le revenu marginal et le coût marginal de la production sont égaux pour obtenir l'équation d'établissement du prix du produit. Ces équations sont ensuit estimées conjointement pour obtenir les valeurs des paramètres qui sont utilisés pour calculer la CPMF.

Les approches de Morrison et de Berndt-Hesse diffèrent quant au nombre de problèmes abordés. Morrison a essayé de saisir simultanément l'effet de l'utilisation de la capacité, des rendements d'échelle non constants et du comportement concernant la majoration des prix dans un cadre intégré, puisque l'estimation normale de la CPMF englobe l'effet de ces facteurs, ainsi que celui du progrès technique. Elle a spécifié pour la production une forme de fonction de demande inverse dans laquelle le prix du produit et le revenu marginal du produit ne sont pas égaux. Le système d'équations qu'elle estime comprend les fonctions de demande des facteurs variables, les équations d'établissement du prix du produit et des facteurs quasi fixes, mais non la fonction de coût originale et la fonction de demande inverse proprement dites. Cette stratégie pourrait ne pas être efficace, parce que les contraintes sur les paramètres des diverses équations ne sont pas nécessairement vérifiées lorsque la fonction de coût et la fonction de demande inverse sont exclues du système d'équations qu'il faut résoudre. En outre, comme les fonctions calculées sont fondées sur les conditions d'équilibre de long terme, les paramètres estimés peuvent ne pas refléter pleinement le comportement d'optimisation de court terme durant les périodes de ralentissement économique. Donc, il n'est pas approprié de les utiliser pour déterminer exactement les élasticités de court terme durant les cycles économiques. En outre, comme l'ont fait remarquer Fousekis (1999) et Hauver et Yee (1992), il se pourrait que la relation a priori de type un à un entre l'effet de l'utilisation de la capacité et l'élasticité du coût dans le cadre théorique de Morrison n'existe pas en raison du mélange de contraintes de long terme et de court terme appliquées pour l'établir.

L'approche de Berndt-Hesse (1986) prend seulement en considération l'effet de l'utilisation de la capacité sur les estimations de la CPMF. Ils imposent des contraintes de rendements d'échelle constants dans la fonction de coût variable de court terme et éliminent le comportement concernant la majoration des prix en rendant le prix du produit égal au coût marginal. La fonction de coût modifiée est estimée conjointement avec un ensemble de fonctions de « part » pour obtenir des estimations plus efficaces. Les valeurs des paramètres calculées par résolution du système d'équations sont utilisées pour trouver la production possible, qui est définie comme étant le point où est atteint le coût total moyen minimal. La CPMF est alors mesurée par la différence entre la croissance de la production possible et la croissance du total des facteurs de production. Imposer les conditions d'équilibre de long terme à la fonction de coût variable de court terme serait une approche valide si l'objectif était de calculer les différences entre les équilibres possibles par analyse statique comparative.

Ces approches paramétriques comportent toutes deux une analyse multivariée complexe. L'un des avantages d'une approche non paramétrique est qu'elle peut être mise en œuvre facilement en utilisant les quantités observées et les prix du produit et des facteurs de production. Un inconvénient est que la nature de la technologie de production est révélée localement en n'utilisant que deux observations. Par conséquent, la mesure de la CPMF demeure généralement volatile. En revanche, une approche paramétrique utilise des données chronologiques pour révéler globalement l'information sur la technologie de production, mais souffre des imprécisions associées à l'analyse par régression — non la moindre provenant des erreurs sur les variables dans les données sous-jacentes[6].

6. Voir Macdonald (2007) pour une discussion de ces problèmes dans l'analyse multivariée classique en utilisant la base de données KLEMS.

On a trouvé que les deux approches paramétriques produisaient des estimations similaires (Slade, 1986; Morrison, 1986), sauf durant les périodes d'évolution spectaculaire de la technologie de production, comme celle des années 1970 qui a suivi le choc pétrolier.

Souvent, les statistiques de productivité officielles publiées par les organismes statistiques qui se basent sur des parts constantes de facteurs de production ne comprennent pas de correction explicite pour les variations cycliques[7]. Compte tenu des variations cycliques de court terme dans la CPMF, l'analyse de la croissance de la productivité et du progrès technique est souvent axée sur le long terme et sur des comparaisons de sommet à sommet. En comparant la croissance de la productivité de cette manière, les analyses peuvent minimiser l'effet des variations de l'utilisation de la capacité (Baldwin et coll., 2011, Barnes, 2011).

3 Approche non paramétrique de mesure de la croissance de la productivité multifactorielle en présence d'utilisation variable du capital

À la présente section, nous étendons le cadre classique de comptabilité de la croissance afin de permettre des variations de court terme de l'utilisation du capital. Ensuite, nous comparons cette approche à l'approche classique de comptabilité de la croissance, qui convient pour mesurer la CPMF dans le long terme.

En pratique, de nombreux organismes statistiques internationaux n'essayent pas d'ajuster leurs mesures de la CPMF pour tenir compte des variations du taux d'utilisation du capital (OCDE 2001)[8]. L'approche non paramétrique décrite dans le présent article peut être adoptée facilement par les organismes statistiques.

En général, les organismes statistiques utilisent le cadre classique de comptabilité de la croissance pour mesurer la CPMF. L'approche, élaborée par Solow (1957), Jorgenson et Griliches (1967), et Diewert (1976), repose sur l'hypothèse qu'il existe une fonction de production agrégée[9]. Le cadre décompose la croissance de la production en deux grandes composantes : la contribution des facteurs capital et travail combinés, et la contribution de la CPMF. La CPMF est égale à la différence entre la croissance de la production et l'effet combiné de la croissance des facteurs de production sur la croissance économique attendue. Le cadre constitue un outil puissant pour analyser les facteurs qui contribuent à la croissance économique dans le long terme. Une hypothèse importante est que les producteurs atteignent l'état d'équilibre à long terme : les niveaux optimaux de travail et de capital utilisés sont supposés être égaux aux niveaux réels de capital et de travail en place.

Toutefois, dans le court terme, le capital est quasi fixe et ne peut pas être ajusté instantanément pour tenir compte des variations de la demande; il ne peut l'être que dans le long terme. Par conséquent, le stock de capital qui est utilisé (capital en usage) diffère du stock réel de capital (capital en place) que possèdent les producteurs. Dans le court terme, le taux d'utilisation du capital d'une entreprise peut varier pour de nombreuses raisons, dont la variation de la demande, les variations saisonnières, les interruptions de la fourniture de produits intermédiaires ou les pannes de machines (OCDE 2001).

7. Dans les comptes canadiens de productivité, Statistique Canada utilise des parts variables des facteurs de production dans la mesure de la CPMF.
8. Cela est particulièrement le cas des organismes qui utilisent plutôt le stock de capital et qui prennent la moyenne des parts de revenu du capital ou des parts de revenu dérivées des taux exogènes de rendement.
9. Le débat sur l'existence de la fonction de production agrégée remonte aux années 1960. Il a eu pour principaux acteurs Robinson et Sraffa à l'Université de Cambridge au Royaume-Uni, et Samuelson et Solow au Massachusetts Institute of Technology aux États-Unis et est connu sous le nom de controverse de Cambridge. Néanmoins, la théorie des fonctions de production est généralement adoptée en analyse de la productivité. Jorgenson (1966) a élaboré une approche moins restrictive en utilisant la frontière des possibilités de production.

Considérons une économie possédant un produit (Y), un facteur travail variable (L) et un facteur capital quasi fixe (K). Une fonction de production neutre de Hicks avec le paramètre de productivité (A) peut s'écrire

$$Y = Af(K, L). \tag{1}$$

Pour que la fonction de production soit bien définie, on suppose que $\partial f/\partial L \geq 0$, $\partial f/\partial K \geq 0$, $\partial^2 f/\partial L^2 \leq 0$, $\partial^2 f/\partial K^2 \leq 0$ et $\partial^2 f/\partial L \partial K \geq 0$.

Dans le court terme, le capital est quasi fixe et ne peut donc pas être ajusté instantanément, de sorte que le capital en place et le capital en usage peuvent différer. Le capital en place correspond à l'offre de capital, tandis que le capital en usage correspond à la demande de capital. Il convient de faire explicitement la distinction entre les deux pour éviter toute confusion de notation. Soit K^u le capital en usage et K^s le capital en place. Alors, $K^u = K^s$ dans le long terme et $K^u \neq K^s$ dans le court terme. La dérivation logarithmique de (1) donne :

$$\frac{d\ln(Y)}{dt} = \frac{\partial \ln(Y)}{\partial \ln(A)}\frac{d\ln(A)}{dt} + \frac{\partial \ln(Y)}{\partial \ln(L)}\frac{d\ln(L)}{dt} + \frac{\partial \ln(Y)}{\partial \ln(K^u)}\frac{d\ln(K^u)}{dt}. \tag{2}$$

Notons que $\partial \ln(Y)/\partial \ln(A) = (A/Y)(\partial Y/\partial A) = (1/f)f = 1$. K est remplacé par K^u dans l'équation (1) pour refléter le fait que le capital en usage peut différer du capital en place dans le court terme. En désignant par α_L et α_K les élasticités de la production par rapport au travail et au capital, respectivement, on peut récrire l'équation (2) sous la forme :

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{Y}}{Y} - \alpha_L \frac{\dot{L}}{L} - \alpha_K \frac{\dot{K}^u}{K^u}, \tag{3}$$

où $d\ln(X)/dt = (d\ln X/dt)/X = \dot{X}/X$.

L'équation (3) montre que la CPMF de court terme est égale à la différence entre la croissance de la production et les effets de la croissance combinée des facteurs de production (travail, capital, etc.), où le facteur capital est le capital en usage plutôt que le capital en place, et le poids du facteur capital est l'élasticité de la production par rapport au capital évaluée en considérant le capital en usage. Cette équation donne une mesure valide de la CPMF, même quand les facteurs travail et capital ne sont pas aux niveaux de minimisation des coûts.

Cependant, le capital en usage et les élasticités par rapport aux facteurs de production figurant dans l'équation (3) ne sont pas observables. Pour mesurer la CPMF en utilisant l'équation (3), des hypothèses supplémentaires doivent être formulées au sujet de la fonction de production et du comportement du producteur, à savoir que la concurrence est parfaite sur les marchés du produit et des facteurs de production et que la fonction de production est caractérisée par des rendements d'échelle constants[10].

Premièrement, considérons le problème d'optimisation de l'entreprise dans le court terme sans supposer que la concurrence est parfaite sur les marchés du produit et que les rendements d'échelle sont constants en production. Soit $P(Y)$ la fonction de demande inverse de la production des entreprises et supposons que $\partial P/\partial Y \leq 0$. Supposons aussi que la concurrence est parfaite sur les marchés des facteurs de production, de sorte que l'offre des facteurs de production est illimitée à des prix de location du marché fixes. Les entreprises choisissent la

10. La question de savoir si ces hypothèses faussent considérablement les estimations résultantes, qui relève de la recherche empirique, a été étudiée pour le Canada (Baldwin et coll., 2001). Selon cet article, jusqu'à 20 % de la CPMF observée au Canada de 1961 à 1995 est due à l'exploitation des économies d'échelle et au capital fixe.

portion optimale de travail et de capital qu'elles doivent louer sur les marchés des facteurs de production pour minimiser le coût de production d'une quantité donnée de produits (Y^0). Le problème de minimisation des coûts des entreprises peut s'écrire sous la forme

$$\begin{aligned} &\underset{K,L}{Min}\ P_L L + P_K K \\ &s.c.\quad Af(L,K) = Y^0, \end{aligned} \tag{4}$$

où P_L et P_K sont les coûts d'usage du travail et du capital du marché durant une période, respectivement. La fonction de Lagrange associée est

$$\Lambda(L,K,\lambda) = P_L L + P_K K + \lambda(Y^0 - Af(L,K)). \tag{5}$$

Le multiplicateur de Lagrange (λ) se rapporte au coût fictif de la production. Les conditions de premier ordre pour la minimisation des coûts sont

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \Lambda}{\partial L} = P_L - \lambda \dfrac{A\partial f}{\partial L} = 0 \\ \dfrac{\partial \Lambda}{\partial K} = P_K - \lambda \dfrac{A\partial f}{\partial K} = 0 \\ \dfrac{\partial \Lambda}{\partial \lambda} = Y^0 - Af(L,K) = 0 \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \dfrac{A\partial f(L,K)}{\partial L} = \dfrac{P_L}{\lambda} \\ \dfrac{A\partial f(L,K)}{\partial K} = \dfrac{P_K}{\lambda} \\ Y^0 = Af(L,K) \end{cases} \tag{6}$$

La demande optimale de travail et de capital peut être calculée en utilisant l'équation (6). Quand il est possible d'ajuster instantanément la portion de travail, le facteur travail observé (L^0) peut être considéré comme reflétant la demande optimale de travail. La portion optimale de capital que les entreprises doivent louer est alors K^u. Supposons que la fonction de production est homogène de degré γ. Le théorème d'Euler implique que

$$\gamma Y^0 = \frac{A\partial f}{\partial L} L^0 + \frac{A\partial f}{\partial K} K^u, \tag{7}$$

et l'imposition des conditions de premier ordre dans (7) donne

$$\gamma \lambda Y^0 = P_L L^0 + P_K K^u = C(Y^0) \quad \Rightarrow \quad AC_{Y^0} \equiv C/Y^0 = \gamma\lambda. \tag{8}$$

Une entreprise choisit la quantité de produits qu'il faut produire de manière à ce que le revenu marginal soit égal au coût marginal, c'est-à-dire

$$\begin{aligned} RM_{Y^0} = P + Y^0 \frac{\partial P}{\partial Y} = P\left(1 + \frac{Y^0}{P}\frac{\partial P}{\partial Y}\right) \equiv P(1 + \varepsilon_{PY}) = CM_{Y^0} = \lambda, \\ \Rightarrow \quad \lambda = P(1 + \varepsilon_{PY}) \end{aligned} \tag{9}$$

Où P est le prix du produit. En substituant λ dans l'équation (8) on obtient

$$\gamma(1 + \varepsilon_{PY}) P Y^0 = P_L L^0 + P_K K^u = C(Y^0). \tag{10}$$

Les élasticités de la production par rapport au travail et au capital peuvent alors être approximées par

$$\alpha_L \equiv \frac{\partial \ln(Y)}{\partial \ln(L)} = \frac{L^0}{Y^0}\frac{\partial Y}{\partial L} = \frac{L^0}{Y^0}\frac{P_L}{\lambda} = \frac{P_L L^0}{PY^0}\frac{1}{1+\varepsilon_{PY}} = \frac{s_L^0}{1+\varepsilon_{PY}}$$
$$\alpha_K \equiv \frac{\partial \ln(Y)}{\partial \ln(K)} = \frac{K^u}{Y^0}\frac{\partial Y}{\partial K} = \frac{K^u}{Y^0}\frac{P_K}{\lambda} = \frac{P_K K^u}{PY^0}\frac{1}{1+\varepsilon_{PY}} = \frac{s_K^0}{1+\varepsilon_{PY}}. \quad (11)$$

En outre

$$\alpha_L + \alpha_K = \gamma \quad \Rightarrow \quad s_L^0 + s_K^0 = \gamma(1+\varepsilon_{PY}). \quad (12)$$

La portion optimale de capital que les entreprises doivent louer sur le marché du capital peut être calculée comme

$$K^u = \frac{\gamma(1+\varepsilon_{PY})PY^0 - P_L L^0}{P_K}. \quad (13)$$

Dans la suite, nous laissons tomber l'indice supérieur 0 pour simplifier la notation. L'introduction de (11) et de (12) par substitution dans (3) donne la formule de mesure de la CPMF de court terme suivante

$$\frac{\dot{A}^{court}}{A^{court}} = \frac{\dot{Y}}{Y} - \alpha_L\frac{\dot{L}}{L} - \alpha_K\frac{\dot{K}^u}{K^u} = \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{s_L}{1+\varepsilon_{PY}}\frac{\dot{L}}{L} - (\gamma - \frac{s_L}{1+\varepsilon_{PY}})\frac{\dot{K}^u}{K^u}. \quad (14)$$

L'équation (14) n'est toujours pas mesurable, parce que l'on ne connaît pas l'élasticité de la production par rapport au prix et le paramètre de rendement d'échelle. En pratique, on suppose souvent que la concurrence est parfaite sur les marchés du produit et que les rendements d'échelle sont constants dans la fonction de production, c'est-à-dire que

$$\varepsilon_{PY} = 0 \quad \text{et} \quad \gamma = 1. \quad (15)$$

Sous ces conditions, les élasticités de la production par rapport au travail et au capital peuvent être approximées par les parts respectives de ces facteurs dans la production minimale. L'équation (14) devient alors

$$\frac{\dot{A}^{court}}{A^{court}} = \frac{\dot{Y}}{Y} - s_L\frac{\dot{L}}{L} - s_K\frac{\dot{K}^u}{K^u}. \quad (16)$$

La CPMF mesurée par (16) peut comprendre les effets des rendements d'échelle non constants et des majorations de prix quand l'équation (15) n'est pas vérifiée.

L'équation (16) a été utilisée dans diverses études empiriques antérieures pour mesurer la CPMF dans le court terme (Hulten, 1986), excepté que le capital en usage était déterminé arbitrairement. Dans la littérature, une approximation du capital en usage est habituellement obtenue en multipliant le stock de capital par des mesures de substitution du taux d'utilisation du capital. Comme nous l'avons mentionné plus haut, ces mesures de substitution comprennent le ratio de la consommation d'énergie au stock de capital (Burnside, Eichenbaum et Rebelo, 1995), le nombre d'heures travaillées par travailleur (Basu et Fernald, 2001), les parts du profit (Denison, 1979), le taux de chômage (Solow, 1957) et l'indice d'utilisation des moteurs électriques en fabrication (Jorgenson et Griliches, 1967).

Le présent article s'éloigne des études antérieures utilisant des mesures de substitution de l'utilisation de la capacité pour mesurer la CPMF dans le court terme. On estime le niveau de stock de capital utilisé dans le court terme en se fondant sur des conditions d'optimisation qui

sont vérifiées dans le court terme quand le capital est quasi fixe. Sous les hypothèses de concurrence parfaite sur les marchés du produit et de rendements d'échelle constants, le niveau réel de stock de capital utilisé satisfait l'équation suivante :

$$PY = P_L L + P_K K^u, \text{ ou } K^u = \frac{PY - P_L L}{P_K}. \tag{17}$$

Pour imputer le niveau de stock de capital utilisé dans le court terme, des estimations du coût d'usage du capital *ex ante* durant une période P_K sont nécessaires. Une approche pratique pour estimer le coût d'usage du capital *ex ante* auquel doivent faire face les producteurs est présentée à la section suivante.

Les équations (16) et (17) sont utilisées pour calculer une mesure de la CPMF de court terme quand le capital en usage diffère du capital en place. On peut définir le ratio d'utilisation du capital comme étant $UC_K \equiv K^u / K^s$. L'équation (16) peut être récrite sous une forme utilisée dans des études empiriques antérieures de la mesure de la CPMF sous utilisation variable du capital[11]

$$\frac{\dot{A}^{court}}{A^{court}} = \frac{\dot{Y}}{Y} - s_L \frac{\dot{L}}{L} - s_K \left(\frac{\dot{K}^s}{K^s} + \frac{\dot{UC}_K}{UC_K} \right). \tag{18}$$

La mesure de l'utilisation du capital employée ici pour corriger le niveau réel de stock de capital dans la mesure de la CPMF de court terme est reliée aux taux de profit utilisés dans Denison (1979) pour ajuster la portion de capital afin de tenir compte du taux de variation de son utilisation dans la mesure de la CPMF. Elle est également reliée à une variante du *q* de Tobin utilisée par Berndt et Fuss (1986) pour corriger la part de revenu revenant au facteur capital de manière à tenir compte du taux de variation de ce facteur.

On peut définir le coût *ex post* d'usage du capital durant une période $\overline{Z}_K$ comme étant :

$$\overline{Z}_K = \frac{PY - P_L L}{K^s}. \tag{19}$$

$\overline{Z}_K$ représente une valeur moyenne et est calculé par différence. En utilisant l'équation (17), nous pouvons dériver l'expression suivante :

$$\begin{aligned} PY = P_L L + P_K K^u = P_L L + P_K UC_K K^s = P_L L + Z_K K^s \\ \Rightarrow \quad UC_K = \frac{Z_K}{P_K}. \end{aligned} \tag{20}$$

L'équation (20) indique que le taux d'utilisation du capital est égal au ratio du rendement *ex post* du capital au coût *ex ante* (de marché) d'usage du capital, ou à une variante du *q* de Tobin[12]. Comme le rendement *ex post* du capital est étroitement relié au taux de profit, l'approche décrite ici peut également être considérée comme une justification de la méthode de Denison,

---

11. Hulten (1986) a obtenu la même équation (équations (13) à (15) du présent article), mais n'est pas allé plus loin.
12. La valeur de marché d'une entreprise reflète la valeur de marché des immobilisations corporelles et incorporelles. Si les immobilisations incorporelles ne sont pas incluses dans le stock de capital, le coût *ex ante* d'usage du capital sera exagéré, et par conséquent introduira un biais à la baisse dans l'estimation de l'utilisation de la capacité. Le coût d'usage *ex ante* est calculé comme étant la moyenne mobile de neuf ans du coût *ex post* d'usage du capital (voir la section suivante), ce qui nous permet d'ignorer le problème de l'omission des immobilisations incorporelles si les deux types de capital ont le même niveau d'utilisation de la capacité.

qui se sert des taux de profit pour corriger l'utilisation du capital[13]. Ce résultat appuie aussi l'approche de Baldwin et coll. (2011) qui utilisent la part de revenu du capital corrigée de la variation de l'utilisation du capital, puisque le rendement *ex post* du niveau réel de capital est relié positivement à la part de revenu attribuable au capital.

L'utilisation de la capacité mesurée sous forme du ratio du coût d'usage *ex post* au coût d'usage *ex ante* du capital est reliée positivement au coût d'usage *ex post* et négativement au coût d'usage *ex ante*. Le coût d'usage *ex post* est estimé sous forme du ratio du revenu du capital *ex post* au niveau réel de stock de capital. Ce coût d'usage *ex post* estimé du capital devrait être relié négativement au niveau de capital non utilisé ou positivement au niveau d'utilisation du capital. Par ailleurs, le coût *ex ante* d'usage du capital est employé pour choisir le niveau optimal d'utilisation du capital qui minimise le coût total des facteurs de production. Le niveau d'utilisation du capital choisi pour minimiser le coût sera d'autant plus faible que le coût *ex ante* d'usage du capital est élevé.

Cette mesure de l'utilisation du capital peut être plus grande ou plus petite que un : une valeur plus petite que un indique que le capital n'est pas entièrement utilisé; une valeur supérieure à un indique que le niveau réel de stock de capital est utilisé de manière plus intensive que la normale, par exemple, en ajoutant des quarts et en travaillant les fins de semaine.

Le cadre non paramétrique d'ajustement pour tenir compte de l'utilisation de la capacité est élaboré sous les hypothèses de concurrence parfaite et de rendements d'échelle constants. En cas de concurrence imparfaite et de rendements d'échelle croissants, les variations de l'utilisation de la capacité fondées sur le coût *ex post* d'usage du capital peuvent refléter des changements dans la majoration des prix. Cependant, la corrélation entre la mesure de l'utilisation de la capacité présentée ici et la majoration des prix est faible et statistiquement non significative pour la plupart des industries au Canada, comme le montre la section 7.3 en annexe.

Dans la partie empirique, une approximation discrète de (18) est utilisée pour mesurer la CPMF de court terme :

$$\ln\left(\frac{PMF_t}{PMF_{t-1}}\right) = \ln\left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}}\right) - \overline{s}_L \ln\left(\frac{L_t}{L_{t-1}}\right) - (1-\overline{s}_L)\left[\ln\left(\frac{K_t^s}{K_{t-1}^s}\right) + \ln\left(\frac{UC_{K,t}}{UC_{K,t-1}}\right)\right]$$

$$\text{avec} \quad \overline{s}_L = \frac{1}{2}\left(\frac{P_{L,t}L_t}{P_tY_t} + \frac{P_{L,t-1}L_{t-1}}{P_{t-1}Y_{t-1}}\right) = \frac{1}{2}\left(s_{L,t} + s_{L,t-1}\right) \tag{21}$$

$$\text{et} \quad UC_{K,t} = \frac{P_tY_t - P_{L,t}L_t}{P_{K,t}K_t^s}, \qquad UC_{K,t-1} = \frac{P_{t-1}Y_{t-1} - P_{L,t-1}L_{t-1}}{P_{K,t-1}K_{t-1}^s}.$$

La mesure de la CPMF de court terme peut être comparée à la mesure classique de la CPMF s'appliquant à l'économie, qui est caractérisée par l'équilibre concurrentiel que l'on suppose exister dans le long terme. Dans le long terme, les portions de facteurs de production sont ajustées complètement afin de maximiser le profit. Le capital en usage est égal au capital en place, c'est-à-dire que $K^u = K^s = K$. La CPMF de long terme peut alors s'écrire

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{Y}}{Y} - s_L\frac{\dot{L}}{L} - s_K\frac{\dot{K}}{K}, \tag{22}$$

où $s_L + s_K = 1$ sous l'hypothèse de rendements d'échelle constants.

13. Voir Denison (1979).

La principale différence entre les mesures de la CPMF de long et de court termes est que le niveau de stock de capital (capital en place) qui maximise le profit diffère du niveau réel de capital utilisé (capital en usage) dans le court terme. Cependant, dans le long terme, ils sont égaux, parce que le capital peut être ajusté afin d'atteindre le niveau de maximisation du profit. Il faut souligner que, avec une technologie dont les rendements d'échelle sont constants, les parts de revenu imputables au capital et au travail ne varient pas, que l'économie se trouve dans un équilibre de long terme ou à un point d'optimisation de court terme.

Si l'on utilise le cadre classique de comptabilité de la croissance (22) pour mesurer la CPMF de court terme sous utilisation variable du capital, on obtient une estimation biaisée de la CPMF réelle. Le biais peut être calculé en soustrayant (22) de (18) :

$$\frac{\dot{A}^{court}}{A^{court}} = \frac{\dot{Y}}{Y} - s_L \frac{\dot{L}}{L} - s_K \left(\frac{\dot{K}^s}{K^s} + \frac{\dot{UC}_K}{UC_K} \right) = \frac{\dot{A}}{A} - s_K \frac{\dot{UC}_K}{UC_K}. \qquad (23)$$

La CPMF applicable à la conjoncture de court terme qui mène à une portion excessive (ou inadéquate) de capital est égale à la CPMF qui s'applique dans le long terme moins le taux de variation de l'utilisation du capital, multiplié par la part de revenu du capital[14].

Les organismes statistiques et la plupart des chercheurs qui se sont penchés sur la question antérieurement utilisaient l'équation (22) pour mesurer la CPMF de court terme sous utilisation variable du capital. L'analyse présentée ici montre que la mesure donne une estimation biaisée de la CPMF réelle corrigée pour tenir compte de l'utilisation du capital. Lorsque l'utilisation du capital diminue, la mesure de la CPMF réelle est plus élevée que la mesure biaisée de la CPMF. Par ailleurs, quand l'utilisation du capital augmente, la mesure de la CPMF réelle est plus faible que la mesure de la CPMF biaisée.

L'approche de la mesure de la CPMF sous utilisation variable du capital proposée dans la présente étude s'applique lorsqu'il n'existe qu'un seul type de facteur capital. Elle peut être étendue à l'économie avec plusieurs types de facteur capital si l'on émet l'hypothèse que le taux d'utilisation du capital est le même pour les divers actifs.

Comparaison avec l'approche de Berndt-Fuss

Berndt et Fuss (1986) ont élaboré une méthode non paramétrique d'ajustement pour tenir compte de l'utilisation de la capacité dans la mesure de la CPMF. Selon eux, c'est la valeur du facteur capital et non la portion de service du capital qui doit être ajustée. Dans leur cadre, le rendement *ex post* du capital doit être utilisé dans la mesure de la CPMF pour tenir compte des variations de l'utilisation de la capacité. En revanche, dans le présent article, nous soutenons que l'on doit utiliser le ratio du rendement *ex post* au rendement *ex ante* du capital plutôt que le prix du capital pour corriger la portion de capital utilisée.

Berndt et Fuss (1986) définissent la production à pleine capacité comme étant le niveau de production auquel les facteurs capital et travail utilisés minimisent le coût et maximisent le profit. Ils définissent l'utilisation de la capacité comme le ratio de la production réelle à la production à pleine capacité. Dans le court terme, le stock de capital est quasi fixe et ne peut pas être

14. Statistique Canada publie la mesure de l'utilisation de la capacité fondée sur des données d'enquête. Il s'agit d'une mesure de l'utilisation de la capacité de type technique. La capacité est définie comme la production maximale pouvant être atteinte sous les pratiques d'exploitation normales des entreprises en ce qui concerne l'utilisation des installations de production, les heures supplémentaires, le travail par quart, les congés, etc. Nous nous sommes servis de cette mesure officielle pour corriger des variations de l'utilisation de la capacité la mesure de la CPMF pour le secteur canadien de la fabrication et nous avons constaté que la CPMF et la croissance de la production mesurée restent fortement corrélées (résultats disponibles sur demande). En revanche, lorsqu'on utilise la mesure de type économique de l'utilisation de la capacité élaborée dans le présent article, les deux variables ne sont plus corrélées. Ces résultats portent à privilégier la mesure présentée dans la présente analyse pour les objectifs examinés ici.

modifié instantanément. On parle d'utilisation plus intensive du capital quand le niveau fixe du stock de capital est combiné à de plus grandes portions de facteur travail que celles optimales dans le long terme. Dans ce cas, la production réelle excède la production à pleine capacité, et l'utilisation de la capacité est supérieure à un. Par ailleurs, si le facteur capital est combiné à de moins grandes portions de facteur travail que celles optimales dans le long terme, la production réelle est inférieure à la production à pleine capacité et l'utilisation de la capacité mesurée est inférieure à un.

Berndt et Fuss (1986) soutiennent que, si le capital est fixe dans le court terme, la CPMF peut être calculée comme la différence entre la croissance de la production et la somme pondérée de la croissance des facteurs capital et travail, où la pondération du facteur travail est la part des coûts de main-d'œuvre dans la production nominale, et celle du facteur capital est la part de la valeur fictive du capital dans la production nominale. La différence entre l'approche de Berndt et Fuss (1986) et le cadre classique de comptabilité de la croissance tient aux pondérations utilisées pour calculer la croissance combinée des facteurs de production. Dans le cadre classique de comptabilité de la croissance, les pondérations du capital et du travail sont toutes deux fondées sur les prix du marché (rémunération du travail pour le facteur travail; coût d'usage du capital du marché pour le facteur capital). Dans la méthode de Berndt et Fuss, la pondération du facteur capital est fondée sur la valeur fictive du capital plutôt que sur son coût d'usage du marché.

Contrairement à la plupart des études empiriques comprenant un ajustement de la portion de facteur capital pour tenir compte de la variation du taux d'utilisation du capital, Berndt et Fuss (1986) argumentent que ce n'est pas la portion de facteur capital qu'il faut ajuster, mais la part des coûts imputables à ce facteur.

Quand l'utilisation de la capacité (le ratio de la production réelle à la production à pleine capacité) est supérieure à un, la valeur fictive du capital excède le coût d'usage de marché du capital, et la CPMF calculée dans le cadre classique de comptabilité de la croissance surestime la CPMF réelle telle que mesurée par la méthode de Berndt et Fuss. Si l'utilisation de la capacité est inférieure à un, la valeur fictive du capital est inférieure au coût d'usage de marché du capital, et la CPMF calculée d'après le cadre classique de comptabilité de la croissance sous-estime la CPMF réelle. Par conséquent, la mesure de la CPMF associée au cadre classique de comptabilité de la croissance a tendance à présenter plus de fluctuations cycliques que la mesure de la CPMF par la méthode de Berndt et Fuss. En ce sens, ces derniers corrigent la mesure de la CPMF des fluctuations cycliques dues aux variations de l'utilisation de la capacité.

Plus précisément, Berndt et Fuss (1986) indiquent que la CPMF de court terme doit être calculée comme

$$\frac{\dot{A}^{BF}}{A^{BF}} = \frac{\dot{Y}}{Y} - s_L \frac{\dot{L}}{L} - s_K^{BF} \frac{\dot{K}^s}{K^s}, \text{ avec } s_K^{BF} = \frac{Z_K K^s}{P\,Y}, \tag{24}$$

où $Z_K \equiv P\ \partial Y / \partial K^s$ est la valeur fictive du facteur capital. La pondération de ce dernier dans l'équation (24) est fondée sur la valeur fictive du capital.

Basu et Fernald (2001) notent que la méthode de Berndt et Fuss n'offre pas de solution au problème que pose l'utilisation de la capacité dans la mesure de la CPMF puisqu'ils utilisent systématiquement le niveau réel de capital en place dans leur mesure. Pour souligner cette distinction, nous utilisons le capital en place K^s dans l'équation (24) de leur mesure de la CPMF. La contribution de Berndt et Fuss consiste à montrer que l'élasticité du facteur capital qu'il convient d'utiliser pour mesurer la CPMF n'est pas nécessairement égale à la part du coût imputable au facteur capital évaluée au prix du marché quand ce facteur ne peut pas être ajusté instantanément.

Basu et Fernald (2001) utilisent une économie caractérisée par une fonction de production de Cobb-Douglas pour illustrer la différence entre la contribution de Berndt et Fuss et d'autres études sur l'utilisation de la capacité. Supposons que la production est conforme à une fonction de production de Cobb-Douglas. Les élasticités des facteurs travail et capital par rapport à la production sont constantes. Donc, l'élasticité par rapport à la production utilisée pour pondérer la croissance du facteur capital et pour calculer la CPMF dans le court terme, quand le capital est fixe, est la même que l'élasticité par rapport à la production dans le long terme quand le facteur capital peut être ajusté à son niveau optimal. La CPMF calculée par la méthode de Berndt et Fuss est la même que la mesure de la CPMF obtenue par la méthode de comptabilité de la croissance classique. Toutefois, un problème d'utilisation de la capacité persiste — par exemple, le capital pourrait être sous-utilisé durant une récession.

Afin de mettre en œuvre la méthode de Berndt et Fuss, il est nécessaire de mesurer l'élasticité du facteur capital et la pondération de la croissance du facteur capital. On peut pour cela supposer que la fonction de production est caractérisée par des rendements d'échelle constants et qu'il n'existe qu'un seul facteur capital. L'estimation de Z_K peut être obtenue en utilisant

$$Z_K = \frac{PY - P_L L}{K^s} \quad \Rightarrow \quad s_K^{BF} = s_K = 1 - s_L. \tag{25}$$

Dans ce cas, la mesure de la CPMF de Berndt et Fuss est identique à celle obtenue en se basant sur le cadre classique de comptabilité de la croissance. Hulten (1986) a déclaré que Berndt et Fuss fournissent une justification théorique de l'approche de Jorgenson. À titre d'alternative, Berndt et Fuss utilisent le *q* de Tobin pour estimer l'élasticité du facteur capital, qui est égale au prix de marché du facteur capital multiplié par le *q* de Tobin : $Z_K^* = \hat{Z}_K \equiv qP_K$, où q est le *q* de Tobin. Dans ce cas, $s_K^{BF} + s_L \neq 1$. Alors que l'approche de Berndt et Fuss est valide quand le capital est entièrement utilisé ($K^u = K^s$), elle n'est pas appropriée quand le capital est sous-utilisé ($K^u < K^s$). Dans cette situation, la production a lieu en utilisant le facteur travail et le capital en usage. La production doit être comparée au niveau de capital utilisé K^u pour estimer la CPMF, comme cela est fait dans la plupart des études empiriques sur l'utilisation de la capacité. Une plus grande quantité de produits serait produite si le niveau réel de stock de capital K^s était utilisé. En outre, dans leur méthode, Berndt et Fuss utilisent la valeur fictive du facteur capital pour pondérer le taux de croissance du stock de capital. Cependant, lorsque le capital utilisé est inférieur au stock réel de capital, la valeur fictive du capital au niveau réel de stock de capital est nulle, parce qu'une unité additionnelle de stock de capital n'ajoute rien à la production (une preuve formelle est donnée en annexe, à la section 7.1).

La méthode de Berndt et Fuss ne fournit pas de mesure réelle de la CPMF quand l'utilisation du capital varie, tandis que l'approche élaborée ici le fait. Pour voir la différence, considérons les mouvements le long d'une courbe de coût unitaire de court terme ou fonction de production avec capital fixe. Comme il n'y a pas de déplacement de la fonction de production, la CPMF qui représente le déplacement de la fonction de production est nulle, et le capital en place ne varie pas :

$$\frac{\dot{A}}{A} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{\dot{K}^s}{K^s} = 0. \tag{26}$$

La mesure de la CPMF de Berndt et Fuss et l'approche présentée ici peuvent s'écrire :

$$CPMF = \begin{cases} \dfrac{\dot{Y}}{Y} - s_L \dfrac{\dot{L}}{L} & \text{Approche de Berndt-Fuss} \\ \dfrac{\dot{Y}}{Y} - \left\{ s_L \dfrac{\dot{L}}{L} + (1 - s_L)\left(\dfrac{\dot{Z}_K}{Z_K} - \dfrac{\dot{P}_K}{P_K} \right) \right\} & \text{Approche du présent article.} \end{cases} \tag{27}$$

Berndt et Fuss (1986) affirment que leur mesure de la CPMF traduit la CPMF réelle, qui est nulle parce qu'il n'y a pas de déplacement de la fonction de production[15]. La mesure de la CPMF de Berndt et Fuss diffère de zéro sauf quand la croissance du facteur travail est supérieure à la croissance de la production, $\left|\dot{L}/L\right| \gg \left|\dot{Y}/Y\right|$. Cette condition implique incorrectement qu'une augmentation (diminution) de l'utilisation de la capacité est associée à une baisse (hausse) de la productivité du travail. Il n'en est pas ainsi lorsque la CPMF est mesurée par la méthode élaborée dans le présent article.

4 Estimation du coût *ex ante* d'usage du capital

Le coût *ex ante* d'usage du capital est un paramètre essentiel à la mise en œuvre des approches paramétrique et non paramétrique de mesure de la CPMF.

Le coût d'usage du capital peut s'écrire (Jorgenson et Griliches, 1967) :

$$P_{Kt} = P_{It} T_t (r_t + \delta_t - \frac{\dot{P}_{It}}{P_{It}}) + \varphi_t, \tag{28}$$

où P_I est l'indice des prix implicite du stock de capital, T est le facteur d'impôt sur le revenu, r est le taux interne de rendement du capital, δ est le taux implicite d'amortissement du capital et φ est le facteur d'impôt indirect y compris les versements de redevances[16]. Le terme $\dot{P}_{It}/P_{It}$ représente les gains ou les pertes découlant de la détention des immobilisations. Le coût d'usage du capital comprend la somme du coût d'option du capital et de la dépréciation de l'actif, ainsi qu'un terme qui soustrait les gains ou pertes en capital résultant de la détention des actifs.

Le coût d'usage du capital dépend de l'estimation du taux de rendement ou du coût d'option du capital r. La littérature empirique décrit deux moyens d'estimer le taux de rendement et le coût d'usage du capital à savoir 1) le calcul endogène du taux d'après les données du Système de comptabilité nationale et 2) le choix exogène d'un taux en se basant sur les taux observés sur le marché (Schreyer, Diewert et Harrison, 2005). Les taux calculés de façon endogène s'appuient sur des données estimées, tirées des comptes nationaux, sur le stock de capital et sur le revenu du capital, qui est constitué de l'excédent brut d'exploitation et de la partie du revenu mixte attribuable au capital. En utilisant la formule du coût du capital et en tenant compte du fait que le revenu du capital rémunère simplement les services de capital, il est possible de calculer le taux de rendement du capital.

Le taux de rendement peut aussi être obtenu d'autres sources, comme un taux de rendement observé sur les marchés financiers. Ici, plusieurs choix sont possibles : un taux de rendement

15. Voir la note en bas de page 14 dans Berndt et Fuss (1986).
16. Le facteur d'impôt indirect est calculé comme étant le ratio de la somme des impôts indirects sur la production et des versements de redevance au stock de capital net réel. Les données sur les impôts indirects sur la production et les redevances proviennent des comptes nationaux.

sans risque, tel un taux d'obligation d'État; un taux de titre de créance émis par une société tenant compte du risque inhérent au secteur des entreprises; ou une moyenne pondérée du taux de rendement de titres de créance et d'actions de société reflétant le fait que le secteur des entreprises est financé par un mélange d'emprunt et de capital-actions.

Dans le présent article, le taux endogène est utilisé pour estimer la CPMF sous utilisation variable du capital pour le secteur de la fabrication. Le taux de rendement observé sur les marchés financiers, tel que le taux d'obligation d'État, reflète le rendement moyen. Ces taux doivent être corrigés des risques inhérents aux industries individuelles avant de pouvoir les utiliser pour calculer le coût d'usage du capital pour ces industries. Or, si les méthodes permettant de faire cette correction sont bien établies, les données nécessaires pour les corrections ne sont pas faciles à obtenir.

On calcule le taux endogène de rendement en utilisant des données sur le revenu du capital et le niveau réel de stock de capital. Ce taux peut être très volatil, surtout au niveau de l'industrie. La volatilité traduit en partie les variations de l'utilisation de la capacité. Pour appliquer l'approche proposée dans la présente étude, le coût *ex ante* d'usage du capital dont est exclu l'effet de l'utilisation de la capacité est nécessaire. On suppose que le coût *ex ante* d'usage du capital est une moyenne du coût *ex post* d'usage du capital sur une période. On le calcule en additionnant le taux réel de rendement et la dépréciation lissés et en soustrayant les gains en capital lissés :

$$P_{Kt} = P_{It} T_t (\overline{r}_t^* + \delta_t - \overline{\pi}_t^*) + \varphi_t , \tag{29}$$

où $\overline{r}_t^*$ est la moyenne mobile de neuf ans du taux endogène réel de rendement et $\overline{\pi}_t^*$ est la moyenne mobile de neuf ans des gains ou pertes réelles en capital sur les actifs fixes. Le taux de rendement endogène réel et les gains ou pertes en capital réels sont calculés en corrigeant le taux de rendement nominal et les gains ou pertes nominaux en capital par le taux d'inflation fondé sur l'Indice des prix à la consommation :

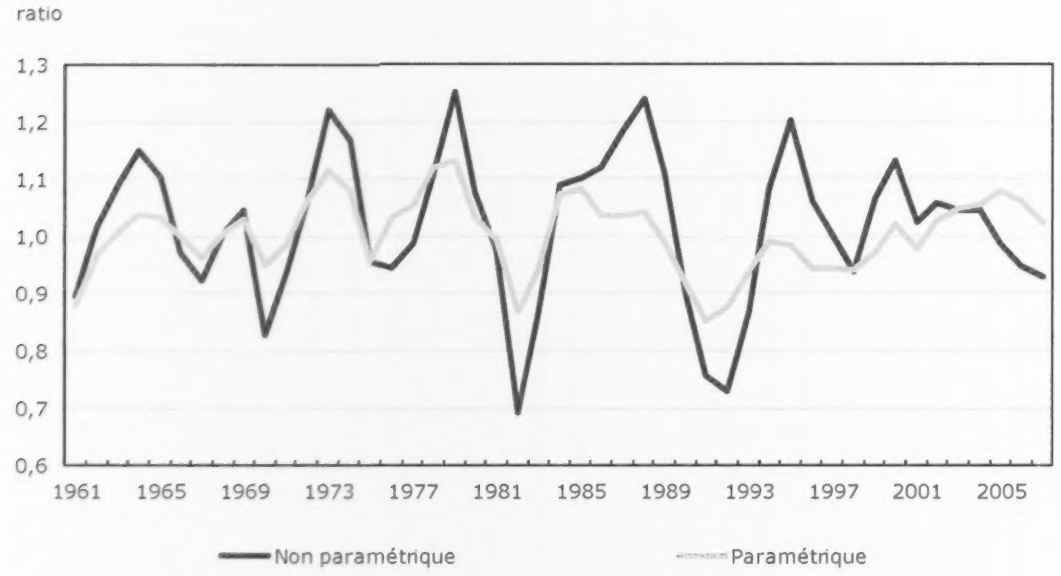
$$r_t^*(\text{ou } \pi_t^*) = \frac{1 + r_t(\text{ou } \pi_t)}{1 + f_t} - 1 \quad \text{et} \quad \overline{r}_t^*(\text{ou } \overline{\pi}_t^*) = \frac{1}{9}\sum_{s=-4}^{4} r_{t+s}^*(\text{ou } \pi_{t+s}^*). \tag{30}$$

5 Résultats empiriques pour les industries du secteur canadien des entreprises

Dans la présente section, on décrit l'application des approches non paramétrique et paramétrique de mesure de la CPMF sous utilisation variable de la capacité afin de déterminer si l'estimation de la CPMF obtenue en se servant du cadre classique de comptabilité de la croissance est influencée par la variation de l'utilisation de la capacité au cours du temps. L'approche non paramétrique que nous utilisons est celle élaborée dans le présent article. L'approche paramétrique que nous appliquons est celle établie par Berndt et Hesse (1986) (section 7.2 en annexe). Nous présentons d'abord les résultats pour le secteur de la fabrication, puis ceux pour les autres industries. Les données sont tirées de la base de données KLEMS de Statistique Canada (CANSIM, tableau 383-0022).

Avant d'examiner l'effet de l'utilisation de la capacité sur la CPMF, nous présentons diverses estimations de l'utilisation de la capacité. L'approche non paramétrique produit une estimation de l'utilisation de la capacité correspondant au ratio du capital en usage au capital en place ($UC_K \equiv K^u / K^s$). L'approche paramétrique produit une estimation du ratio de la production réelle à la production à pleine capacité ($UC_Y \equiv Y / Y^*$).

Graphique 1
Diverses mesures de l'utilisation de la capacité, fabrication



Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur la base de données KLEMS.

Le graphique 1 donne les deux mesures de l'utilisation de la capacité pour le secteur canadien de la fabrication de 1961 à 2007. Ces mesures présentent des tendances et des variations similaires de la capacité avant 2000. Toutes deux ont diminué considérablement durant les deux ralentissements économiques qui ont eu lieu durant la période de référence. Après le début des années 1990, l'utilisation de la capacité a augmenté en raison de l'essor de la haute technologie et de la croissance de la demande d'exportations manufacturières canadiennes sur le marché américain associée à une dépréciation du dollar canadien par rapport au dollar américain.

Comme le montre le graphique, la mesure non paramétrique de l'utilisation de la capacité est plus volatile que la mesure paramétrique. Cette dernière est égale au ratio de la production réelle à la production à pleine capacité et son mouvement dépend des fluctuations de l'utilisation de la capacité du capital et du facteur travail optimal. Étant donné que l'approche paramétrique révèle globalement la technologie de production au moyen d'une analyse par régression sur l'ensemble de la période de référence, les variations d'une période à l'autre du facteur travail optimal sont lissées et moins volatiles. Par conséquent, le ratio de la production réelle à la production à pleine capacité devient moins volatil que l'utilisation de la capacité du capital.

Après 2000, le secteur de la fabrication a connu une forte réduction de l'utilisation de la capacité. Des mesures fondées sur des données d'enquête montrent que l'utilisation de la capacité a diminué dans 16 des 20 industries manufacturières durant cette période. La formation d'une partie de la capacité excédentaire observée après 2000 a coïncidé avec le ralentissement économique général qui a sévi en Amérique du Nord, la hausse marquée de la valeur du dollar canadien et l'intensification de la concurrence mondiale, qui ont entraîné d'importants reculs des exportations manufacturières durant la période. La formation d'une capacité excédentaire dans plusieurs industries après 2000 a également été associée à d'importants ajustements structurels de long terme (Baldwin et coll., 2011). Ainsi, le secteur de la fabrication de produits électroniques a subi un rajustement après l'éclatement de la bulle des

technologies au début des années 2000. L'approche non paramétrique reflète un tel phénomène et montre une diminution de l'utilisation de la capacité, alors que l'approche paramétrique manque entièrement ce phénomène bien décrit[17].

L'écart observé après 2000 entre les mesures non paramétrique et paramétrique de l'utilisation de la capacité a pour origine leur capacité différente à saisir les variations de court terme dans une économie. Après 2000, on a assisté dans l'économie canadienne, surtout dans le secteur de la fabrication, à une augmentation importante de la part de l'emploi et du revenu du travail. Ces changements n'ont pas eu d'incidence sur la mesure non paramétrique de l'utilisation de la capacité du capital parce que la portion réelle de facteur travail est utilisée dans l'approche non paramétrique. Par ailleurs, l'approche paramétrique s'appuie sur une moyenne de la technologie de production pour prédire la portion optimale de facteur travail et la production à pleine capacité d'une année à l'autre. Par conséquent, elle ne peut pas saisir entièrement la hausse de la part de l'emploi et du revenu du travail observée après 2000 et sous-estime donc la portion optimale de travail et la production à pleine capacité, ce qui entraîne un biais à la hausse du ratio de la production réelle à la production à pleine capacité estimé sur l'ensemble de cette période.

Tableau 1

Diverses mesures de la croissance de la productivité multifactorielle du secteur canadien de la fabrication, 1961 à 2007

	Moyenne	Écart-type	Moyenne après 2000	Corrélation avec la croissance de la production
		pourcentage		
Mesure fondée sur la valeur ajoutée réelle				
Non corrigée pour tenir compte de l'utilisation de la capacité	1,65	3,52	-0,28	0,85
Corrigée pour tenir compte de l'utilisation de la capacité, non paramétrique, Gu-Wang	1,64	2,82	0,94	-0,12
Corrigée pour tenir compte de l'utilisation de la capacité, paramétrique, Berndt-Hesse	1,76	0,10	1,60	...
Mesure fondée sur le produit brut réel				
Non corrigée pour tenir compte de l'utilisation de la capacité	0,54	1,14	-0,09	0,79
Corrigée pour tenir compte de l'utilisation de la capacité, non paramétrique, Gu-Wang	0,53	0,90	0,28	-0,20
Corrigée pour tenir compte de l'utilisation de la capacité, paramétrique, Berndt-Hesse	0,56	0,05	0,49	...

Source: Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur la base de données KLEMS.

Le tableau 1 présente les mesures de la CPMF fondées sur la valeur ajoutée réelle et sur la production brute réelle pour le secteur de la fabrication de 1961 à 2007, corrigées des variations de l'utilisation de la capacité en utilisant les approches paramétrique et non paramétrique. Aux fins de comparaison, la CPMF calculée selon la méthode classique de comptabilité de la croissance est également incluse, et est appelée « Non corrigée pour tenir compte de l'utilisation de la capacité ».

La mesure de la CPMF calculée par la méthode classique de la comptabilité de la croissance est procyclique, car elle englobe l'effet de la variation procyclique de l'utilisation de la capacité. Au cours de la période de référence, le coefficient de corrélation entre la mesure de la CPMF

17. Nous avons également produit des mesures de l'utilisation de la capacité fondées sur la production brute pour l'approche paramétrique.

selon cette méthode et la croissance de la production était de 0,85 environ pour la mesure fondée sur le produit intérieur brut (PIB) et de 0,79 pour celle fondée sur la production brute.

L'approche non paramétrique proposée dans le présent article corrige l'effet de la fluctuation cyclique de l'utilisation de la capacité. Les coefficients de corrélation entre l'estimation non paramétrique de la CPMF et la croissance de la production étaient proches de zéro pour la mesure fondée sur la valeur ajoutée et celle fondée sur la production brute. Cela donne à penser que la procyclicité de la CPMF calculée pour le secteur canadien de la fabrication pourrait être due en grande partie à la mesure incorrecte du facteur capital et que les effets des autres facteurs (chocs technologiques, rendements d'échelle non constants et majoration des prix) sont faibles. Ces résultats vont dans le sens des constatations faites par Basu (1996) pour le secteur américain de la fabrication.

L'estimation de la CPMF obtenue par l'approche paramétrique varie peu au cours du temps, reflétant l'hypothèse que le coût variable est une fonction quadratique, le progrès technique étant représenté comme une tendance temporelle.

La mesure de rechange donne des taux de croissance comparables de la PMF sur l'ensemble de la période de 1961 à 2007. Il semble donc que l'estimation de la CPMF par la méthode de la comptabilité de la croissance reflète l'effet de l'utilisation de la capacité dans le court terme, mais que si on prend la moyenne sur une longue période, la méthode élimine les effets de court terme de l'utilisation cyclique de la capacité.

Les résultats de la méthode classique de comptabilité de la croissance montrent une forte diminution de la CPMF dans le secteur canadien de la fabrication après 2000. De 2000 à 2007, la CPMF fondée sur le PIB était égale à -0,28 % par année, chiffre nettement inférieur au taux de croissance annuel de 1,65 % sur l'ensemble de la période, de 1961 à 2007. Après correction de la mesure pour tenir compte des variations de l'utilisation de la capacité au cours du temps, le taux de CPMF fondé sur le PIB était environ de 0,94 % par année pour la période de 2000 à 2007 selon la méthode non paramétrique ainsi que paramétrique. Le taux de CPMF corrigé de l'effet de l'utilisation de la capacité pour la période postérieure à 2000 était similaire ou légèrement inférieur au taux moyen de CPMF sur la période de 1961 à 2007.

Les résultats font penser que la diminution de la CPMF observée après 2000 dans le secteur de la fabrication résulte en grande partie de la diminution de l'utilisation de la capacité. Ce résultat est en harmonie avec ceux de Baldwin et coll. (2011) qui se sont servis de microdonnées au niveau de l'établissement provenant de l'Enquête annuelle des manufactures.

Bien que les approches non paramétrique et paramétrique produisent toutes deux une mesure de la CPMF corrigée de l'effet de l'utilisation de la capacité, l'approche non paramétrique offre plusieurs avantages.

Premièrement, comme il est mentionné plus haut, la mesure de l'utilisation de la capacité obtenue par l'approche non paramétrique concorde mieux avec les faits historiques concernant l'utilisation de la capacité après 2000 dans le secteur canadien de la fabrication. En harmonie avec le développement d'une capacité excédentaire dans le secteur de la fabrication au cours de la période postérieure à 2002, l'approche non paramétrique indique une baisse de l'utilisation de la capacité, tandis que l'approche paramétrique indique une augmentation de cette utilisation.

Deuxièmement, l'approche paramétrique requiert des estimations exactes de nombreux paramètres dans les fonctions de coût variable, qui, à leur tour, nécessitent un grand échantillon et une méthode d'estimation cohérente. Les séries chronologiques courtes peuvent mener à des estimations inexactes des paramètres ou à une non-convergence. En outre, l'approche paramétrique peut donner des résultats biaisés à cause d'observations aberrantes (Macdonald, 2007).

De surcroît, l'approche non paramétrique possède des avantages supplémentaires pour l'analyse empirique. En premier lieu, elle donne une correction plus pratique pour tenir compte de l'utilisation de la capacité, parce qu'elle est plus facile à mettre en œuvre qu'une approche paramétrique et qu'elle est plus compatible avec l'approche non paramétrique habituellement utilisée par les organismes statistiques et les chercheurs pour mesurer la CPMF. En deuxième lieu, l'approche non paramétrique n'est pas sensible au choix du coût *ex ante* d'usage du capital. Comme le montre le tableau 2, le choix du taux réel de rendement pour calculer le coût d'usage du capital a peu d'effet sur la valeur de la CPMF calculée selon l'approche non paramétrique.

Tableau 2

Sensibilité de la mesure non paramétrique de la croissance de la productivité factorielle au choix du taux réel de rendement du capital (secteur canadien de la fabrication)

Taux réel de rendement du capital net du taux réel de gains/pertes en capital	Moyenne 1961 à 2007	Écart-type 1961 à 2007	Moyenne après 2000	Corrélation avec la croissance de la production
		pourcentage		
5 pourcent	1,60	2,81	1,26	-0,10
10 pourcent	1,63	2,81	1,04	-0,11
20 pourcent	1,66	2,84	0,84	-0,12
40 pourcent	1,68	2,90	0,69	-0,14

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur la base de données KLEMS.

L'estimation de la CPMF corrigée pour tenir compte de l'utilisation de la capacité et celle calculée en se servant du cadre classique de comptabilité de la croissance pour les industries du secteur des entreprises au niveau à deux chiffres du SCIAN sont présentées au tableau 3.

Pour l'ensemble du secteur des entreprises, la procyclicité de la mesure classique de la CPMF a été réduite considérablement après la correction pour tenir compte de l'effet des variations de l'utilisation de la capacité. Le coefficient de corrélation entre la CPMF mesurée et la croissance de la production est passé de 0,73 à 0,20 pour les mesures fondées sur le PIB, et de 0,66 à 0,09 pour celles fondées sur la production brute. Cela implique que la variation de l'utilisation de la capacité explique une part importante de la procyclicité de la mesure classique de la CPMF.

Une grande part de la diminution de la CPMF observée après 2000 résulte des fluctuations cycliques émanant des variations de l'utilisation de la capacité. Pour l'ensemble du secteur des entreprises, la mesure classique de la CPMF a baissé de 0,37 % par année de 2000 à 2007; la CPMF corrigée des variations de l'utilisation de la capacité a augmenté de 0,02 % par année au cours de la même période.

L'effet de l'utilisation de la capacité varie selon l'industrie. Il est généralement important dans les industries productrices de biens, telles que celles de la fabrication[18], mais il est nettement moindre dans les industries productrices de services (sauf celles du commerce de gros).

La correction pour tenir compte de l'utilisation de la capacité ne réduit pas toujours la volatilité de la CPMF mesurée (tableau 3). En outre, la volatilité augmente considérablement pour le secteur minier. Cela semble être en contradiction avec la notion voulant que la série de données sur la CPMF corrigée des variations de l'utilisation de la capacité soit systématiquement moins volatile que la série non corrigée, parce que la croissance de la production et l'utilisation de la capacité doivent, en principe, être corrélées positivement.

18. Les résultats montrent aussi que, pour le secteur minier, la mesure corrigée de la CPMF est moins cyclique que la mesure classique. Ces résultats pourraient refléter un mouvement de la composition du secteur minier vers les sables bitumineux et les mines exploitant des minerais à faible teneur, plutôt que des variations de l'utilisation de la capacité.

Dans certaines circonstances, on devrait s'attendre à cette plus grande volatilité. Dans la présente analyse, le taux mesuré d'utilisation de la capacité est basé sur l'hypothèse que, durant chaque période, l'économie atteint les conditions d'optimisation dans le court terme, les prix des facteurs s'ajustant entièrement à l'évolution de l'offre et de la demande. Cependant, étant donné la rigidité du taux de rémunération et le prix du marché du capital dans le court terme, les variations des prix du produit peuvent entrainer une volatilité du taux mesuré d'utilisation de la capacité plus importante qu'elle ne l'est en réalité. Le cas échéant, le mouvement simultané de la croissance de la production et de l'utilisation de la capacité pourrait être affaibli, surtout dans les industries, telles celles du secteur minier, où des variations très importantes des prix des produits sont fréquentes. Dans ce cas, la CPMF corrigée pourrait refléter la volatilité excédentaire due à la rigidité des prix des facteurs dans le court terme[19].

19. Nous remercions Jianmin Tang d'avoir souligné ce point.

Tableau 3
Croissance de la productivité multifactorielle (CPMF) par industrie, 1961 à 2007

	Moyenne de 1961 à 2007		Écart-type de 1961 à 2007		Moyenne après 2000		Corrélation avec la croissance de la production	
	Méthode classique	Le présent document	Méthode classique	Le présent document	Méthode classique	Le présent document	Méthode classique	Le présent document
	pourcentage						coefficient de corrélation	
CPMF fondée sur le produit intérieur brut								
Ensemble du secteur des entreprises	0,36	0,41	1,67	1,68	-0,37	0,02	0,73	0,20
Agriculture	2,12	2,13	6,88	8,50	1,55	1,39	0,96	0,46
Extraction minière	-1,73	-1,10	6,04	11,39	-5,73	-2,38	0,79	0,03
Services publics	1,21	1,49	4,12	4,94	1,30	1,54	0,64	0,19
Construction	0,29	0,25	3,94	3,70	-0,68	-1,54	0,47	0,31
Fabrication	1,65	1,64	3,52	2,82	-0,28	0,94	0,85	-0,12
Commerce de gros	1,96	1,96	3,17	3,30	2,28	1,80	0,80	0,31
Commece de détail	1,62	1,68	3,15	3,30	1,50	1,38	0,82	0,58
Transport	1,34	1,38	3,44	3,14	-0,46	-0,54	0,79	0,62
Information	2,02	1,88	2,52	3,56	2,58	0,82	0,63	0,72
Finance, assurance et immobilier	-1,05	-0,80	2,84	3,40	0,32	0,15	0,57	0,21
Services professionnels	-2,16	-2,04	3,35	3,36	-0,13	-0,72	0,42	0,58
Administration	-2,09	-2,05	3,94	3,88	-0,37	-0,43	0,22	0,14
Éducation	1,14	1,14	11,82	11,64	2,34	2,06	0,62	0,61
Santé	-0,37	-0,25	4,24	3,68	-2,62	-2,27	0,72	0,59
Arts, spectacles	-3,03	-2,78	6,04	5,60	-1,20	-1,22	0,60	0,52
Hébergement, restauration	-2,39	-2,19	4,32	3,97	0,57	0,78	0,26	0,31
Autres services	-1,14	-1,08	2,96	3,15	0,47	0,15	0,53	0,43
CPMF fondée sur la production brute								
Ensemble du secteur des entreprises	0,18	0,20	0,84	0,84	-0,18	0,01	0,66	0,09
Agriculture	1,02	0,99	3,87	4,57	0,56	0,44	0,76	0,27
Extraction minière	-1,31	-0,98	4,39	7,62	-4,02	-1,78	0,69	-0,09
Services publics	0,97	1,19	3,31	3,94	0,92	1,06	0,55	0,15
Construction	0,12	0,11	1,64	1,55	-0,28	-0,62	-0,01	-0,11
Fabrication	0,54	0,53	1,14	0,90	-0,09	0,28	0,79	-0,20
Commerce de gros	1,28	1,28	2,12	2,19	1,33	1,05	0,65	0,19
Commerce de détail	1,07	1,12	2,12	2,23	0,92	0,86	0,65	0,58
Transport	0,81	0,82	1,98	1,78	-0,26	-0,31	0,60	0,45
Information	1,41	1,30	1,79	2,42	1,47	0,46	0,47	0,65
Finance, assurance et immobilier	-0,74	-0,58	1,85	2,20	0,18	0,08	0,24	0,15
Services professionnels	-1,62	-1,52	2,48	2,51	-0,09	-0,44	0,35	0,48
Administration	-1,45	-1,42	2,73	2,66	-0,26	-0,26	0,16	0,03
Éducation	0,62	0,62	5,70	5,57	1,66	1,46	0,59	0,57
Santé	-0,26	-0,18	3,17	2,77	-1,93	-1,68	0,67	0,54
Arts, spectacles	-1,75	-1,62	3,43	3,19	-0,62	-0,63	0,52	0,46
Hébergement, restauration	-1,32	-1,22	2,33	2,14	0,27	0,38	0,21	0,21
Autres services	-0,84	-0,79	2,11	2,25	0,30	0,09	0,47	0,37

Source: Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur la base de données KLEMS.

6 Conclusion

Plusieurs études ont eu pour objectif d'essayer de neutraliser l'effet de l'utilisation de la capacité sur la mesure de la CPMF.

Le présent article décrit une approche non paramétrique qui fait la distinction entre les facteurs de production quasi fixes en usage et en place, et dans laquelle toutes les variables et les élasticités sont évaluées de façon cohérente. Dans ce cadre, l'utilisation de la capacité est calculée d'après des données sur le coût *ex ante* d'usage du capital et est fondée sur la théorie économique de la production.

Ce cadre est utilisé pour estimer la CPMF dans le secteur de la fabrication et dans d'autres industries, et les résultats sont comparés à ceux produits par l'approche non paramétrique de Jorgenson, ainsi que l'approche paramétrique élaborée par Berndt et Hesse (1986). Les résultats donnent à penser que la variation de l'utilisation de la capacité joue un rôle important dans l'explication de la procyclicité de la mesure non paramétrique classique de la CPMF dans les industries canadiennes productrices de biens, surtout celles du secteur de la fabrication.

L'approche proposée dans la présente étude indique qu'une diminution importante de l'utilisation de la capacité a eu lieu après 2000 dans le secteur canadien de la fabrication. Cette observation concorde avec d'autres données empiriques. En harmonie avec les preuves d'un effet de l'utilisation de la capacité sur la CPMF fournies par Baldwin et coll. (2011) en se servant de microdonnées provenant de l'Enquête annuelle des manufactures, les résultats montrent que la diminution de la CPMF observée après 2000 dans le secteur de la fabrication était en grande partie attribuable à la diminution de l'utilisation de la capacité.

7 Annexe

7.1 Fixité et valeur fictive du capital dans le court terme

La présente annexe traite d'un certain nombre de problèmes conceptuels que pose l'approche non paramétrique de Berndt et Fuss (1985) en vue de mesurer la CPMF lorsque l'utilisation de la capacité varie. On montre d'abord que la valeur fictive du capital calculée au niveau réel de capital utilisé est nulle lorsque le capital est sous-utilisé. Puis, nous soutenons que dans leur approche, Berndt et Fuss comparent la production à un ensemble de facteurs de production qui ne correspond pas à cette production.

Considérons un problème de maximisation du profit dans le court terme lorsque le capital est fixe. La fixité de court terme du capital impose une contrainte sur la production. L'approche de la valeur fictive est souvent utilisée pour évaluer ce genre de contrainte. En théorie, l'expression « valeur fictive du capital » fait référence à la valeur découlant de l'allègement de la contrainte sur le capital. Étant donné les prix du produit et des facteurs de production, les entreprises choisissent les facteurs travail et capital de manière à maximiser leur profit sous la contrainte que le capital utilisé est plus petit que le capital en place, c'est-à-dire

$$Max_{K^u,L} \; PY(K^u, L) - P_L L \qquad s.c. \;\; K^u \le K^s. \tag{31}$$

La fonction de Lagrange associée est

$$\Lambda(L, K^u, \lambda) = PY(L, K^u) - P_L L - \lambda(K^u - K^s). \tag{32}$$

Le multiplicateur de Lagrange (λ) fait référence à la valeur fictive du capital. Les conditions de premier ordre pour la maximisation du profit sont :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Lambda(L, K^u, \lambda)}{\partial L} &= P\frac{\partial Y(L, K^u)}{\partial L} - P_L = 0 \\ \frac{\partial \Lambda(L, K^u, \lambda)}{\partial K^u} &= P\frac{\partial Y(L, K^u)}{\partial K^u} - \lambda = 0. \end{aligned} \tag{33}$$

Le niveau optimal de facteur travail et de facteur capital $\{L, K^u\}$ peut être trouvé en résolvant (33), chaque groupement de travail et de capital en usage correspondant à un niveau donné de production.

Les conditions de Kuhn-Tucker associées à (32) peuvent s'écrire

$$K^u \le K^s \quad \text{et} \quad \lambda(K^u - K^s) = 0, \tag{34}$$

ce qui implique que

$$\lambda = \begin{cases} P\dfrac{\partial Y(L, K^u)}{\partial K} > 0, & \text{si } K^u = K^s \\ 0, & \text{si } K^u < K^s. \end{cases} \tag{35}$$

L'équation (35) suggère que la valeur fictive du capital est égale à zéro quand le capital est sous-utilisé. Cette constatation est intuitive, parce que l'ajout de capital supplémentaire n'augmente en rien le profit si le capital existant n'a pas été pleinement utilisé. L'autre implication de (35) est que la valeur fictive du capital est égale à la valeur du produit marginal

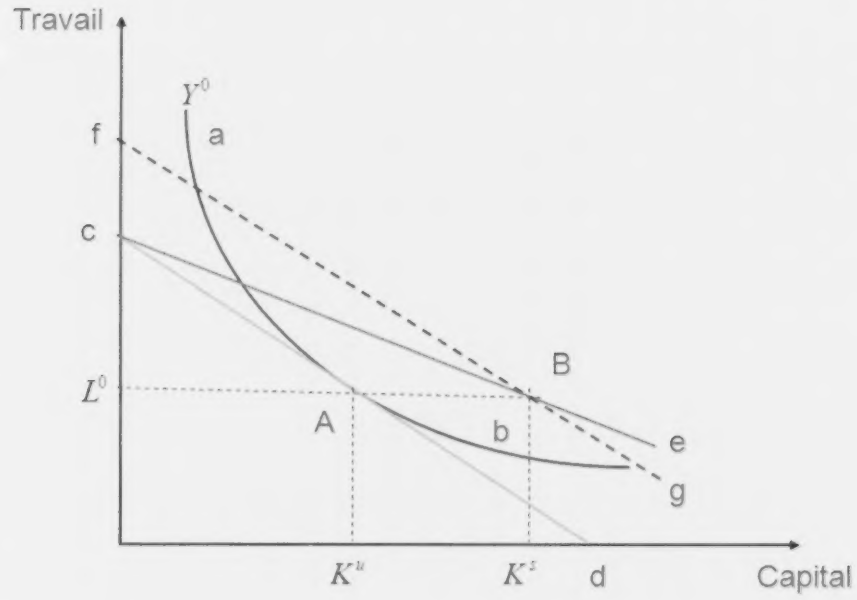
du capital lorsque le capital en usage est égal au niveau réel de capital, c'est-à-dire quand la contrainte sur le stock de capital est obligatoire.

La figure 1 illustre le problème de la mesure de la CPMF que doit résoudre l'analyste. La courbe *ab* représente l'isoquant correspondant à la production Y^0. La droite en trait interrompu *fg* est la droite d'isocoût qui représente $P_L L^0 + P_K K^s = C$. Dans le court terme, $C > PY^0$. Notre solution consiste à remplacer K^s par K^u de sorte que $P_L L^0 + P_K K^u = PY^0$ (droite d'isocoût *cd*). La solution de Berndt-Fuss consiste à trouver Z_K tel que $P_L L^0 + Z_K K^s = PY^0$ (droite d'isocoût *ce*). Le point A est le point d'optimisation de court terme auquel $Y^0 = Af(L^0, K^u)$, $P\partial Y(L^0, K^u)/\partial L = P_L$ et $P\partial Y(L^0, K^u)/\partial K = P_K$. Par conséquent, les parts de revenu évaluées au point A sont des approximations valides des élasticités de la production qui sont utilisées pour mesurer la CPMF. Si les prix du produit et des facteurs ne changent pas, le point B n'est pas un point d'optimisation, parce que

$$\frac{\partial^2 f(L,K)}{\partial L \partial K} \geq 0 \quad \Rightarrow \quad P\frac{\partial Y(L^0, K^s)}{\partial L} > P\frac{\partial Y(L^0, K^u)}{\partial L} = P_L. \tag{36}$$

Donc, l'application de l'analyse marginale au point B n'est pas valide. En outre, Berndt et Fuss (1986) comparent la production au point A avec les facteurs de production au point B pour estimer la CPMF. Conséquemment, ils supposent implicitement la pleine utilisation du capital.

Figure 1



Notes : La figure 1 explique le problème de mesure de la CPMF.

L'axe horizontal représente le stock de capital et l'axe vertical, le travail.

La courbe *ab* représente l'isoquant correspondant à la production observable qui est désignée par Y^0.

La droite en trait interrompu *fg* est la droite d'isocoût qui représente les coûts observables du travail et du capital en production. Le coût observable du travail est égal au taux de rémunération multiplié par la portion de facteur travail et le coût observable du capital est égal au coût d'usage du capital du marché multiplié par le capital en place.

Le point B représente la combinaison du facteur travail observé (L^0) et du capital en place observé (K^S).

Dans le court terme, quand le capital est sous-utilisé, le coût total excède le revenu total, parce que le capital est payé entièrement mais n'est pas utilisé entièrement. La droite en trait plein *cd* est la droite d'isocoût qui est tangente à l'isoquant *ab* au point A. Donc, l'isocoût *cd* représente le coût minimal pour produire la production observée (Y^0), et le point A représente la combinaison optimale de facteur travail (L^0) et de capital en usage (K^u). Dans cette situation, le coût total et le revenu total sont égaux, donc la droite d'isocoût *cd* est parallèle à la droite d'isocoût *fg*, mais se trouve plus bas que celle-ci.

L'approche de Berndt-Fuss consiste à maintenir le capital en place (K^s) inchangé, mais à l'évaluer en se servant du coût interne d'usage du capital (Z^k) au lieu du coût d'usage du capital du marché, de sorte que le coût total et le revenu total sont égaux. Par conséquent, leur droite d'isocoût (*ce*) devient plus plate et coupe la droite d'isocoût *cd* au point c et la droite d'isocoût *fg* au point B.

Le point A est le point d'optimisation de court terme auquel la production observable (Y^0) est produite en utilisant le facteur travail observé (L^0) et le capital en usage (K^u), et les valeurs des produits marginaux des facteurs capital et travail sont égales à aux prix du marché correspondants de ces facteurs. Par conséquent, les parts du revenu évaluées au point A sont des approximations valides des élasticités de la production qui sont utilisées pour mesurer la CPMF.

Si les prix du produit et des facteurs ne varient pas, le point B n'est pas un point d'optimisation, parce que la valeur du produit marginal au point B est supérieure au prix du marché du facteur travail (taux de rémunération). Par conséquent, l'analyse marginale au point B n'est pas valide. En fait, la production qui peut être faite au point B sera plus grande qu'au point A. Berndt et Fuss (1986) comparent de manière non cohérente la production au point A avec les facteurs de production au point B pour estimer la CPMF. Par conséquent, ils supposent implicitement qu'il y a pleine utilisation du capital.

7.2 Approche paramétrique de la mesure de la croissance de la productivité multifactorielle sous utilisation variable du capital

La présente section décrit une approche paramétrique d'estimation de la CPMF sous utilisation variable de la capacité. L'approche a été élaborée par Berndt et Fuss (1986), Berndt et Hesse (1986) et Morrison (1985). Pour commencer, on estime une fonction de coût variable dans le court terme. Ensuite, on estime la production à pleine capacité, qui correspond au point minimum sur la courbe du coût total moyen si les rendements d'échelle sont constants dans le long terme. La CPMF est calculée comme étant la variation logarithmique du coût total moyen sous production à pleine capacité. Ou, de façon équivalente, elle peut être calculée comme étant la différence entre la croissance de la production à pleine capacité et la croissance combinée des facteurs de production. Comme la CPMF est calculée sous production à pleine capacité, elle ne comprend pas les effets des variations de l'utilisation de la capacité. Par contre, la mesure de la CPMF obtenue par la méthode classique de comptabilité de la croissance est calculée au niveau réel de production. Elle englobe l'effet des variations de l'utilisation de la capacité, car la croissance de la production réelle peut refléter partiellement les accroissements de l'utilisation des facteurs de production existants plutôt que des accroissements dus à des changements de technologie.

À la présente section, nous suivons la méthode de Berndt et Hesse (1986) qui comprend l'utilisation d'une fonction de coût variable translogarithmique. Soit les facteurs de production variables travail (L), énergie (E), matières (M) et services (S), et désignons leurs prix respectifs par P_I pour $I = \{L, E, M, S\}$. Soit K le stock de capital, et t l'effet du progrès technique. Le stock de capital est supposé fixe dans le court terme. Les facteurs variables (travail, énergie, matières et services) et le facteur capital fixe sont utilisés pour produire le produit Y. La fonction translogarithmique de coût variable de court terme s'écrit

$$\ln(CV) = \alpha_0 + \sum_I \alpha_I \ln(I) + \sum_I \frac{\beta_{II}}{2}[\ln(I)]^2 + \sum_{I<J}\sum_J \beta_{IJ} \ln(I)\ln(J)$$
$$\text{pour } I, J = \{Y, K, P_L, P_E, P_M, P_S, e^t\}, \quad \text{et } i, j = \{Y, K, L, E, M, S, t\}, \tag{37}$$

où $\beta_{ij} = \beta_{ji}$. L'équation (37) contient 36 paramètres. Plusieurs contraintes doivent être imposées pour que la fonction de coût soit bien définie. La condition d'homogénéité de degré un des prix des facteurs variables implique les contraintes suivantes sur les paramètres :

$$\sum_{I=\{L,E,M,S\}} \alpha_I = 1$$
$$\sum_{I=\{L,E,M,S\}} \beta_{Ij} = 0, \text{ pour } j = \{Y, K, L, E, M, S, t\}. \tag{38}$$

L'hypothèse de rendements d'échelle constants implique les contraintes supplémentaires suivantes :

$$\sum_{I=\{Y,K\}} \alpha_I = 1$$
$$\sum_{I=\{Y,K\}} \beta_{Ij} = 0, \text{ pour } j = \{Y, K, L, E, M, S, t\}. \tag{39}$$

Les équations (38) et (39) donnent 16 contraintes sur les paramètres. Cependant, l'une d'elles est redondante parce que la sommation des équations sur $j = \{Y, K\}$ dans (38) est identique à celle pour $j = \{L, E, M, S\}$ dans (39). Par conséquent, il existe 15 contraintes indépendantes, et l'on doit estimer en tout 21 paramètres indépendants. L'introduction des contraintes (38) et (39) dans la fonction de coût variable (37) donne une fonction de coût variable qui est

homogène de degré un en $\{Y, K\}$ et en $\{L, E, M, S\}$. Après certaines opérations algébriques, nous obtenons

$$\begin{aligned} &\ln(CV) - \ln(K) - \ln(P_S) \\ &\quad = \alpha_0 + \sum_I \alpha_i \ln(I) + \sum_I \frac{\beta_{II}}{2}[\ln(I)]^2 + \sum_{I \neq J} \sum_J \beta_{ij} \ln(I)\ln(J) \\ &\quad \text{pour } I, J = \left\{ \frac{Y}{K}, \frac{P_L}{P_S}, \frac{P_E}{P_S}, \frac{P_M}{P_S}, e^t \right\}, \quad \text{et } i, j = \{Y, L, E, M, t\}. \end{aligned} \tag{40}$$

Les facteurs variables sont choisis de manière à minimiser le coût variable de court terme. Le lemme de Hotelling implique que

$$\frac{\partial CV}{\partial P_I} = I, \quad \text{pour } I = \{L, E, M, S\}. \tag{41}$$

Pour maximiser le profit, nous prenons le prix du produit égal au coût marginal, c'est-à-dire $\partial CV / \partial Y = P$. Les parts des coûts variables imputables au travail, à l'énergie et aux matières, et le ratio de la production nominale au coût variable peuvent s'écrire

$$S_I \equiv \frac{P_I I}{CV} = \frac{\partial CV}{\partial P_I}\frac{P_I}{CV} = \frac{\partial \ln(CV)}{\partial \ln(P_I)} \quad \text{pour } I = \{L, E, M\}, \quad \text{et } S_Y \equiv \frac{PY}{CV} = \frac{\partial \ln(CV)}{\partial \ln(Y)}. \tag{42}$$

La différentiation logarithmique de (40) par rapport à $I = \{Y, P_L, P_E, P_M\}$ donne

$$\begin{aligned} &S_i = \alpha_i + \sum_J \beta_{ij} \ln(J) \\ &\text{pour } J = \left\{ \frac{Y}{K}, \frac{P_L}{P_S}, \frac{P_E}{P_S}, \frac{P_M}{P_S}, e^t \right\}, \; j = \{Y, L, E, M, t\}, \text{ et } i = \{Y, L, E, M\}. \end{aligned} \tag{43}$$

Dans l'analyse empirique, l'équation du coût variable (40) et quatre équations de « part » dans (43) sont estimées en utilisant un estimateur du maximum de vraisemblance sous information complète.

La CPMF est calculée comme étant la croissance de la production à pleine capacité moins la croissance des facteurs combinés qui sont utilisés dans la production à pleine capacité. La production à pleine capacité (Y^*) minimise le coût total moyen (CTM)

$$Min_Y(CTM) = Min_Y\left(\frac{CV}{Y} + \frac{P_K K}{Y}\right) \tag{44}$$

où P_K est le coût d'usage du capital attendu.

La condition de premier ordre pour la minimisation du coût total est

$$\begin{aligned} &\frac{1}{Y^*}\frac{\partial CV}{\partial Y} - \frac{CV^*}{Y^{*2}} - \frac{P_K K}{Y^{*2}} = \frac{1}{Y^*}\frac{CV^*}{Y^*}\frac{\partial \ln(CV)}{\partial \ln(Y)} - \frac{CV^*}{Y^{*2}} - \frac{P_K K}{Y^{*2}} = \frac{CV^*}{Y^{*2}} S_Y^* - \frac{CV^*}{Y^{*2}} - \frac{P_K K}{Y^{*2}} = 0 \\ &\qquad \Rightarrow \quad CV^*(S_Y^* - 1) = P_K K, \end{aligned} \tag{45}$$

où CV^* est une fonction de Y^* et Y^{*2}, et S_Y^* est une fonction de $\ln(Y^*)$. La condition de premier ordre est utilisée pour trouver la valeur de la production à pleine capacité. Comme l'équation n'est pas linéaire en Y^*, il n'existe pas de solution analytique de forme close de Y^*. Une procédure numérique est utilisée pour trouver Y^*.

Une fois que la capacité Y^* est connue, il est possible de calculer le coût variable minimal CV^*, les portions de facteurs variables utilisées pour obtenir la production à pleine capacité $\{L^*, E^*, M^*, S^*\}$ et les parts du coût variable imputables aux facteurs variables S_L^*, S_E^*, S_M^*, S_S^* et S_Y^* d'après les équations (40) et (43). La CPMF peut alors être calculée comme

$$\Delta \ln(MFP) = \Delta \ln(Y^*) - \overline{s}_L \Delta \ln(L^*) - \overline{s}_E \Delta \ln(E^*) - \overline{s}_M \Delta \ln(M^*) - \overline{s}_S \Delta \ln(S^*) - \overline{s}_K \Delta \ln(K), \tag{46}$$

où

$$\begin{aligned} I^* &= \frac{S_I^* CV^*}{P_I} \quad \text{pour } I = \{L, E, M, S\} \text{ , et} \\ s_I &= \frac{S_I^*}{S_Y^*} \quad \text{pour } I = \{L, E, M, S\} \quad \text{et} \quad s_K = 1 - (s_L + s_E + s_M + s_S). \end{aligned} \tag{47}$$

Le prix du produit dans le long terme, l'utilisation de la capacité primale et l'utilisation de la capacité duale (coût) peuvent être calculés par

$$P^* = \frac{S_I^* CV^*}{Y^*}, \quad UC_P = \frac{Y}{Y^*}, \quad UC_C = \frac{CV + P_K K}{CV^* + P_K K}. \tag{48}$$

7.3 Majoration du prix et utilisation de la capacité

La majoration du prix (μ) est souvent définie sous forme du ratio du prix du produit (P) au coût marginal du produit ($CM_Y \equiv \partial C / \partial Y$), c'est-à-dire

$$\mu \equiv \frac{P}{CM_Y}. \tag{49}$$

Elle est reliée au taux de rendement d'échelle (γ) et à l'élasticité de la production par rapport au prix (ε_{PY}). Le taux de rendement d'échelle est défini comme étant l'élasticité de la production par rapport au coût, ce qui est donné par

$$\gamma = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln C} = \frac{\partial Y}{\partial C}\frac{C}{Y} = \frac{P}{CM_Y}\frac{PY - (PY - C)}{PY} \equiv \mu(1 - \zeta), \tag{50}$$

où le taux de profit économique (ζ) est le ratio du profit économique au revenu total. En outre, les entreprises sont modélisées comme choisissant la quantité de produits produite de manière que le revenu marginal soit égal au coût marginal du produit, ce qui donne

$$\frac{\partial(PY)}{\partial Y} = P + Y\frac{\partial P}{\partial Y} = P(1+\varepsilon_{PY}) = CM_Y$$
$$\Rightarrow \quad \mu = \frac{P}{CM_Y} = \frac{1}{1+\varepsilon_{PY}}. \tag{51}$$

Dans (49), le coût marginal (CM_Y) peut être remplacé par le coût variable marginal (CVM_Y) parce qu'ils sont les mêmes dans le court terme. Comme les niveaux de prix ne sont pas observables, nous ne pouvons calculer que l'indice des majorations de prix en utilisant les indices de prix correspondants. En posant que l'exposant I désigne l'indice, nous pouvons approximer l'indice des majorations de prix par

$$\mu^I = \frac{P^I}{\sum_J \varpi_J P_J^I}, \quad \text{avec} \quad \varpi_J \equiv \frac{P_J J}{\sum_J P_J J}, \quad \text{et} \quad J \in (\text{facteurs variables}). \tag{52}$$

En se servant de la base de données KLEMS de Statistique Canada, on peut calculer l'indice des majorations de prix en se basant sur (52).

Pour étudier l'influence des hypothèses de concurrence parfaite et de rendements d'échelle constants, on calcule le coefficient de corrélation entre la majoration de prix et l'utilisation de la capacité estimée au moyen de (20). Soit ρ le coefficient de corrélation et N la taille de l'échantillon; la statistique t peut alors être calculée comme étant

$$t = \rho\sqrt{\frac{N-1}{1-\rho^2}}. \tag{53}$$

Les résultats du coefficient de corrélation pour l'ensemble du secteur des entreprises et pour les industries du niveau à deux chiffres du SCIAN sont présentés au tableau 4. Le coefficient de corrélation est faible et statistiquement non significatif pour l'ensemble du secteur des entreprises et pour toutes les industries sauf celles de l'agriculture, de l'extraction minière et de l'éducation.

Tableau 4
Coefficient de corrélation entre la majoration du prix et l'utilisation de la capacité

	Fondé sur le produit intérieur brut		Fondé sur la production brute	
	coefficient	statistique t	coefficient	statistique t
Ensemble du secteur des entreprises	0,0779	0,5183	0,0710	0,4721
Agriculture	0,2754	1,8999	0,4439	3,2860
Extraction minière	0,5389	4,2431	0,4852	3,6803
Services publics	0,2079	1,4097	0,2504	1,7155
Construction	-0,0052	-0,0344	0,0308	0,2042
Fabrication	0,0889	0,5918	0,0901	0,5999
Commerce de gros	0,0533	0,3543	0,0736	0,4899
Commece de détail	0,0956	0,6368	0,1064	0,7098
Transport	0,0650	0,4323	0,0692	0,4602
Information	-0,0535	-0,3556	-0,0381	-0,2529
Finance, assurance et immobilier	0,1712	1,1529	0,1493	1,0019
Services professionnels	0,2551	1,7500	0,1846	1,2459
Administration	0,0409	0,2713	-0,1961	-1,3265
Éducation	-0,3936	-2,8397	-0,3988	-2,8844
Santé	-0,1603	-1,0770	-0,2018	-1,3666
Arts, divertissement	0,0532	0,3531	-0,0349	-0,2318
Hébergement, restauration	-0,2442	-1,6702	-0,2895	-2,0066
Autres services	0,1569	1,0538	0,1345	0,9004

Note : La valeur critique de la loi *t* au seuil de signification de 95 % avec 44 degrés de liberté (taille de l'échantillon moins deux) est égale à 2,02.

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur la base de données KLEMS.

Bibliographie

Baldwin, J.R., V. Gaudreault et T.M. Harchaoui. 2001. « Croissance de la productivité dans le secteur canadien de la fabrication : une alternative au cadre traditionnel ». *Croissance de la productivité au Canada.* Publié sous la direction de J.R. Baldwin, D. Beckstead, N. Dhaliwal, R.Durand, V.Gaudreault, T.M.Harchaoui, J.Hosein, M.Kaci et J.-P.Maynard. Produit n° 15-204-X au catalogue de Statistique Canada. Ottawa, Ontario. p. 113 à 148.

Baldwin, J.R., W. Gu et B. Yan. 2011. *Croissance des exportations, utilisation de la capacité et croissance de la productivité : données sur les établissements de fabrication canadiens.* Produit n° 11F0027M au catalogue de Statistique Canada. Ottawa (Ontario). Série de documents de recherche sur l'analyse économique (AE). N° 75.

Barnes, P. 2011. *Multifactor Productivity Growth Cycles at the Industry Level.* Canberra (Australie). Australia Productivity Commission. Document de consultation.

Basu, S. 1996. « Pro-cyclical productivity: Increasing returns or cyclical utilization? ». *Quarterly Journal of Economics.* Vol. 111. N° 3. p. 719 à 751.

Basu, S., et J. Fernald. 2001. « Why is productivity procyclical? Why do we care? ». *New Developments in Productivity Analysis.* Studies in Income and Wealth. Vol. 63. Publié sous la direction de C.R. Hulten, E.R. Dean et M.J. Harper. National Bureau of Economic Research. Chicago (Illinois). The University of Chicago Press. p. 225 à 302.

Berndt, E.R., et M.A. Fuss. 1986. « Productivity measurement with adjustments for variations in capacity utilization and other forms of temporary equilibrium ». *Journal of Econometrics.* Vol. 33. p. 7 à 29.

Berndt, E.R., et D.M. Hesse. 1986. « Measuring and assessing capacity utilization in the manufacturing sector of nine OECD countries ». *European Economic Review.* Vol. 30. p. 961 à 989.

Burnside, C., M. Eichenbaum et S. Rebelo. 1995. « Capital utilization and returns to scale ». *NBER Macroeconomics Annual 1995.* Publié sous la direction de B.S. Bernanke et J.J. Rotemberg. National Bureau of Economic Research. Cambridge (Massachusetts). p. 67 à 110.

Christensen, L.R., et D.W. Jorgenson. 1969. « The measurement of U.S. real capital input, 1929-1967 ». *Review of Income and Wealth.* Vol. 15. p. 293 à 320.

Christensen, L.R., et D.W. Jorgenson. 1970. « U.S. real products and real factor input, 1929-1967 ». *Review of Income and Wealth.* Vol. 16. p. 19 à 50.

Cooley, T.F., et E.C. Prescott. 1995. « Economics growth and business cycles ». *Frontiers of Business Cycle Research.* Publié sous la direction de T.F. Cooley. Princeton. Princeton University Press. p. 1 à 38.

Denison, E.F. 1969. « Some major issues in productivity analysis: An examination of estimates by Jorgenson and Griliches ». *Survey of Current Business.* Vol. 49. N° 5. Deuxième partie. p. 1 à 27.

Denison, E.F. 1979. *Accounting for Slower Economic Growth: The United States in the 1970s.* Washington (D.C.). The Brookings Institution.

Diewert, E. 1976. « Exact and superlative index numbers ». *Journal of Econometrics.* Vol. 4. p. 115 à 146.

Fousekis, P. 1999. « Temporary equilibrium, full equilibrium, and elasticity of cost ». *Journal of Productivity Analysis.* Vol. 11. N° 1. p. 43 à 54.

Gollop, F.M., et D.W. Jorgenson. 1980. « U.S. productivity growth by industry, 1947-73 ». *New Developments in Productivity Measurement and Analysis.* Studies in Income and Wealth. Vol. 44. Publié sous la direction de J.W. Kendrick et B.N. Vaccara. National Bureau of Economic Research. Chicago (Illinois). The University of Chicago Press. p. 172 à 218.

Hauver, J.H., et J. Yee. 1992. « Morrison's measure of capacity utilization: A critique ». *Journal of Econometrics.* Vol. 52. N° 3. p. 403 à 406.

Hulten, C.R. 1986. « Productivity change, capacity utilization, and the sources of efficiency growth ». *Journal of Econometrics.* Vol. 33. N° 1-2. p. 31 à 50.

Hulten, C.R. 2010. « Growth Accounting ». *Handbook of the Economics of Innovation.* Vol. 2. Publié sous la direction de B. Hall et N. Rosenberg. Amsterdam. Elsevier B.V. Chapitre 23. p. 987 à 1031.

Jorgenson, D.W. 1966. « Embodiment hypothesis ». *Journal of Political Economy.* Vol. 74. N° 1. p. 1 à 17.

Jorgenson, D.W., et Z. Griliches. 1967. « The explanation of productivity change ». *Review of Economic Studies.* Vol. 34. p. 249 à 283.

Macdonald, R. 2007. *Estimation de la PTF en présence de points aberrants et de points leviers : examen de l'ensemble de données KLEMS.* Produit n° 11F0027M au catalogue de Statistique Canada. Ottawa (Ontario). Série de documents de recherche sur l'analyse économique (AE). N° 47.

Morrison, C.J. 1985. « Primal and dual capacity utilization: An application to productivity measurement in the U.S. automobile industry ». *Journal of Business and Economic Statistics.* Vol. 3. p. 312 à 324.

Morrison, C.J. 1986. « Productivity measurement with non-static expectations and varying capacity utilization: An integrated approach ». *Journal of Econometrics.* Vol. 33. p. 51 à 74.

Morrison, C.J. 1988. « Quasi-fixed inputs in U.S. and Japanese manufacturing: A generalized Leontief cost function approach ». *The Review of Economics and Statistics.* Vol. 70. p. 275 à 287.

Morrison, C.J. 1992a. « Mark-ups in U.S. and Japanese manufacturing: A short-run econometric analysis ». *Journal of Business and Economic Statistics.* Vol. 10. N° 1. p. 51 à 63.

Morrison, C.J. 1992b. « Unraveling the productivity growth slowdown in the United States, Canada and Japan: The effects of sub-equilibrium, scale economies and mark-ups ». *The Review of Economics and Statistics.* Vol. 64. p. 381 à 393.

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). 2001. *Mesurer la productivité : Mesurer la croissance de la productivité par secteur et pour l'ensemble de l'économie.* Paris. OCDE.

Schreyer, P., E. Diewert et A. Harrison. 2005. *Cost of Capital Services and the National Accounts.* Issues paper for the July 2005 AEG meeting. Advisory Expert Group on National Accounts. Nations Unies. Document n° SNA/M1.05/04.

Slade, M.E. 1986. « Total-factor productivity measurement: A Monte Carlo assessment ». *Journal of Econometrics.* Vol. 33. p. 75 à 95.

Solow, R.M. 1957. « Technical change and the aggregate production function ». *The Review of Economics and Statistics.* Vol. 39. N° 3. p. 312 à 320.